

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 1 di 24                    |
| <br><br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

**SITO VERSALIS DI RAVENNA (RA)**

**ISTANZE DI VERIFICA OTTEMPERANZA CONDIZIONI AMBIENTALI PRESSO L'IMPIANTO DI VERSALIS S.P.A. SITO NEL COMUNE DI RAVENNA**

|   |                              |   |                   |                  |             |
|---|------------------------------|---|-------------------|------------------|-------------|
|   |                              |   |                   |                  |             |
|   |                              |   |                   |                  |             |
|   |                              |  |                   |                  |             |
| 00  | Prima Emissione              | WSP   | VERSALIS          | VERSALIS         | 16/01/2024  |
| <b>Indice di Rev.</b>   | <b>Descrizione Revisione</b> | <b>Elaborato</b>  | <b>Verificato</b> | <b>Approvato</b> | <b>Data</b> |
| <i>Questo documento è di proprietà Versalis S.p.A. che se ne riserva tutti i diritti.</i> |                              |   |                   |                  |             |

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 2 di 24                    |
| <br><br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

## INDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUZIONE</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1      | PREMESSA   | 4         |
| 1.2      | SINTESI DELLE ATTIVITÀ PIANIFICATE                         | 5         |
| 1.3      | PROCEDURA PER LA GESTIONE DEL PERICOLO PER ALLAGAMENTO     | 6         |
| <b>2</b> | <b>SISTEMA INFORMATICO PER IL MONITORAGGIO IN CONTINUO</b> | <b>6</b>  |
| <b>3</b> | <b>INTERFEROMETRIA SAR</b>                                 | <b>6</b>  |
| 3.1      | TECNICA INSAR  | 7         |
| 3.2      | ANALISI INSAR STORICA                                      | 10        |
| 3.3      | MONITORAGGIO INSAR   | 13        |
| <b>4</b> | <b>MONITORAGGIO A LUNGO TERMINE</b>                        | <b>15</b> |
| 4.1      | VARIABILI PER L'ANALISI STORICA                            | 15        |
| 4.2      | VARIABILI PER L'ANALISI DELLE PROIEZIONI PER IL XXI SECOLO | 18        |
| 4.3      | METODI PER L'ANALISI DEI DATI CLIMATICI                    | 20        |
| <b>5</b> | <b>VERIFICA E ADEGUAMENTO DELLE SOGLIE</b>                 | <b>22</b> |
| <b>6</b> | <b>MONITORAGGIO DELLE SOGLIE</b>                           | <b>23</b> |
| 6.1      | FONTI DEI DATI   | 23        |
| 6.2      | CREAZIONE E CALIBRAZIONE DEL MODELLO                       | 24        |

## FIGURE

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 1  | Esempio di risultato A-DInSAR in area in subsidenza. Sono visibili i punti di misura con colori che identificano gli spostamenti (in millimetri/anno) in allontanamento dal sensore (dal giallo al rosso), in avvicinamento al sensore (dal celeste al blu) e stabili (verde). | 7  |
| Figura 2. | Esempio di mappe di iso-cedimento in area in subsidenza.   | 8  |
| Figura 3. | Principio dell'acquisizione di immagini SAR satellitari con diverse orbite (ascendente-discendente) e vantaggi derivanti dalla combinazione delle due tipologie di risultati.  | 9  |
| Figura 4  | Footprint delle immagini SAR satellitari utilizzate nelle analisi A-DInSAR ubicazione del sito oggetto di studio.  | 10 |
| Figura 5  | Distribuzione temporale delle acquisizioni COSMO che verranno impiegate nell'analisi storica.  | 11 |
| Figura 6. | Esempio di Trend Change Detection Analysis e correlazione tra il dato di spostamento derivante da analisi A-DInSAR (punti neri) e le precipitazioni (linea blu). I breakpoint identificano i cambiamenti di trend della serie temporale di spostamento.                        | 13 |
| Figura 7. | Schema riassuntivo delle principali missioni satellitari SAR di Earth Observation con durata prevista e future. In rosso si riportano quelle in banda X, in blu in banda C e in verde in banda L.  | 14 |

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni<br/>ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito<br/>nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 3 di 24                    |
| <br><br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 4 di 24                    |
| <br><br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Premessa

Il presente documento costituisce il riscontro alle Verifiche di Ottemperanza, che sono state prescritte dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ("MASE") durante il processo di Verifica di Assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale ("VIA") del Progetto "Riassetto impianti SOL-NEOCIS" ("Intervento") dello stabilimento Versalis di Ravenna ("Stabilimento", "Versalis").

Il processo di Verifica di Assoggettabilità a VIA si è concluso con la trasmissione del Decreto n. 0000406 del 5 settembre 2023, in cui il MASE esclude l'intervento dalla procedura di VIA e richiede il rispetto delle condizioni ambientali, espresse nel parere della Sottocommissione VIA-della Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale VIA e VAS n. 791 del 17 luglio 2023.

Nel presente documento viene presentato il progetto da sottoporre a validazione, relativamente alle misure indicate nella condizione n. 5, di seguito riportata:

| <b>CONDIZIONE n. 5</b>     |  |
|----------------------------|--|
| Macrofase                  | Ante-operam, corso d'opera, post-operam  |
| Fase                       | Progettazione esecutiva, costruzione, esercizio.   |
| Ambito di applicazione     | Monitoraggio geodetico, idro-mareografico e meteorologico  |
| Oggetto della prescrizione | Dovrà essere sviluppato un progetto di monitoraggio integrato in continuo, per la durata della vita dell'opera, sulla base:<br>a) di misure periodiche, telerilevate, di punti quotati significativi del piano campagna delle opere di progetto, tramite interferometria SAR satellitare e terrestre, per il controllo delle variazioni di elevazione del terreno, in particolare per effetto sia dei cedimenti, eventualmente differenziali, dei manufatti e dei depositi sottostanti, sia della subsidenza locale;<br>b) delle misure idrografiche e mareografiche dei corpi idrici nell'area vasta (stazioni esistenti), di misure locali nel sito di Progetto (canale Candiano) finalizzate al controllo idrometrico degli effetti locali di concorrenza fra gli apporti idrici dei corsi d'acqua interni, dei bacini di transizione e del mare;<br>c) del monitoraggio e di previsioni meteorologiche in continuo, con particolare riferimento ai parametri significativi (fra cui, ma non solo, ondametrici, pluviometrici, anemometrici) per l'individuazione preventiva di eventi meteorologici estremi. Il progetto, sottoposto per validazione agli enti coinvolti, sarà finalizzato al monitoraggio degli effetti cumulati del progressivo abbassamento topografico e dell'innalzamento idrico, sia periodico e a breve |

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 5 di 24                    |
| <br><br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
|                                     | termine (eventi alluvionali, fenomeni c.d. di "acqua alta", mareggiate ed altri eventi estremi) sia a lungo termine (progressivo innalzamento del livello marino per effetto dello scioglimento globale delle calotte polari), e definirà livelli progressivi di allerta, in base ai quali si procederà dal breve termine, in occasione del superamento di valori soglia, al fermo temporaneo, fino al lungo termine, superata la soglia critica, con il fermo definitivo della produzione e la dismissione delle opere |
| Termine avvio Verifica Ottemperanza | Prima dell'avvio della fase di cantiere, per il progetto. Due volte l'anno, per i report periodici di monitoraggio.   |
| Ente vigilante                      | MASE  |
| Enti coinvolti                      | ISPRA, Regione Emilia-Romagna, ARPA Emilia-Romagna e Autorità di bacino Distrettuale del fiume Po, nelle rispettive competenze, sia per la validazione del progetto, sia per il controllo dei report.   |

## 1.2 Sintesi delle attività pianificate

In ottemperanza al Parere n. 791 del 17 luglio 2023, Versalis prevede di organizzare le attività in 5 fasi, brevemente riassunte di seguito.

| Fase | Descrizione                         | Scopi  |
|------|-------------------------------------|--|
| 1    | Sistema informatico                 | Predisposizione di un sistema informatico, integrato con il sistema previsionale, che fornisca i dati misurati nel Canale Candiano   |
| 2    | Interferometria SAR                 | Analisi delle deformazioni storiche e monitoraggio integrato mediante analisi InSAR e GNSS   |
| 3    | Monitoraggio a lungo termine        | Definizione della baseline climatica e delle possibili evoluzioni, principalmente in relazione a:<br>- livello del mare<br>- eventi meteo-climatici estremi  |
| 4    | Verifica e adeguamento delle soglie | Analisi dei risultati delle fasi 2 e 3 in relazione alle soglie di livello idrico per il fermo dell'attività, al fine di:<br>- verificare le soglie attualmente utilizzate<br>- verificare l'impatto che le soglie attuali potrebbero avere sull'operatività dell'impianto in un contesto di cambiamento climatico |
| 5    | Monitoraggio delle soglie           | Creazione di un modello numerico per la previsione dei livelli idrometrici e la notifica di valori considerati sopra soglia/anomali.   |

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 6 di 24                    |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

### 1.3 Procedura per la gestione del pericolo per allagamento

A partire da novembre 2005, si applica nel sito Versalis Ravenna la Procedura RSI-HSE-EM-05 che riporta le Disposizioni in caso di Pericolo per Allagamento del Canale Candiano. La procedura definisce livelli progressivi di allerta e conseguenti azioni di mitigazione da adottare in sito, fino al fermo delle attività.

I livelli definiti nella procedura verranno presi come punto di riferimento di partenza e le informazioni raccolte nei 18 anni di operatività costituiscono una base di conoscenza che sarà utilizzata sia in fase di analisi storica, che in fase di verifica ed eventuale adeguamento delle soglie di intervento.

Nel seguito del presente documento viene descritta in maniera approfondita la metodologia che si intende seguire in ciascuna fase.

## 2 SISTEMA INFORMATICO PER IL MONITORAGGIO IN CONTINUO

La realizzazione di un sistema efficace di monitoraggio in continuo che integri dati previsionali, misure in situ e sistemi di notifica, non può prescindere dalla predisposizione di un sistema informatico.

Il sistema di monitoraggio descritto in questo documento prevede di integrare, mediante procedure informatiche automatizzate, i dati di previsione delle variabili meteo-climatiche di interesse, le misure relative al livello del Canale Candiano, che sono registrati e trasmessi alla Sala controllo Parco Generale Serbatoi di Versalis, e gli esiti delle notifiche prodotte dal sistema di monitoraggio, al fine di:

- Disporre di una base dati comprendente dati misurati e valori predetti;
- Utilizzare periodicamente i dati raccolti per la verifica, calibrazione e miglioramento della capacità predittiva del modello previsionale;
- Rendere disponibili agli utenti del sistema un insieme di strumenti di consultazione e visualizzazione dinamica dei dati;
- Consentire la produzione periodica di rapporti di monitoraggio.

## 3 INTERFEROMETRIA SAR

In ottemperanza al punto a) dell'Oggetto della prescrizione, relativa al monitoraggio dell'altimetria del terreno e di eventuali modifiche dovute a subsidenza locale e cedimenti, l'attività sarà strutturata in due punti:

- Analisi InSAR storica per la stima degli spostamenti superficiali subiti dal terreno e dalle strutture nell'area di interesse;
- Monitoraggio InSAR, per il monitoraggio futuro dell'area e il controllo dell'evoluzione di eventuali fenomeni deformativi rilevati per mezzo dell'analisi storica.

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 7 di 24                    |
| <br><br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

### 3.1 Tecnica InSAR

L'InSAR (Interferometric Synthetic Aperture RADAR) (Massonnet et al., 1998; Hanssen, 2001), che si basa sul confronto di immagini RADAR acquisite in tempi diversi, rappresenta la principale metodologia di telerilevamento satellitare impiegata ad oggi per la misura degli spostamenti della superficie terrestre e delle strutture presenti su di essa.

Il principio alla base delle metodologie Multi-Image InSAR o Advanced DInSAR (A-DInSAR) è costituito dalla combinazione delle informazioni provenienti da un elevato numero di immagini, che permette la ricostruzione di serie temporali di spostamento di oggetti a terra ben visibili dal satellite nell'intero periodo analizzato. Tale approccio viene condiviso da diverse metodologie di analisi che hanno in comune l'obiettivo di ottimizzare le informazioni di spostamento racchiuse nel segnale delle immagini SAR acquisite in tempi diversi su una medesima area.

L'utilizzo delle tecniche A-DInSAR permette, non solo di individuare un dato processo deformativo, passato o in atto, ma anche di stimarne l'evoluzione nel tempo e nello spazio (Figura 2 e Figura 2).

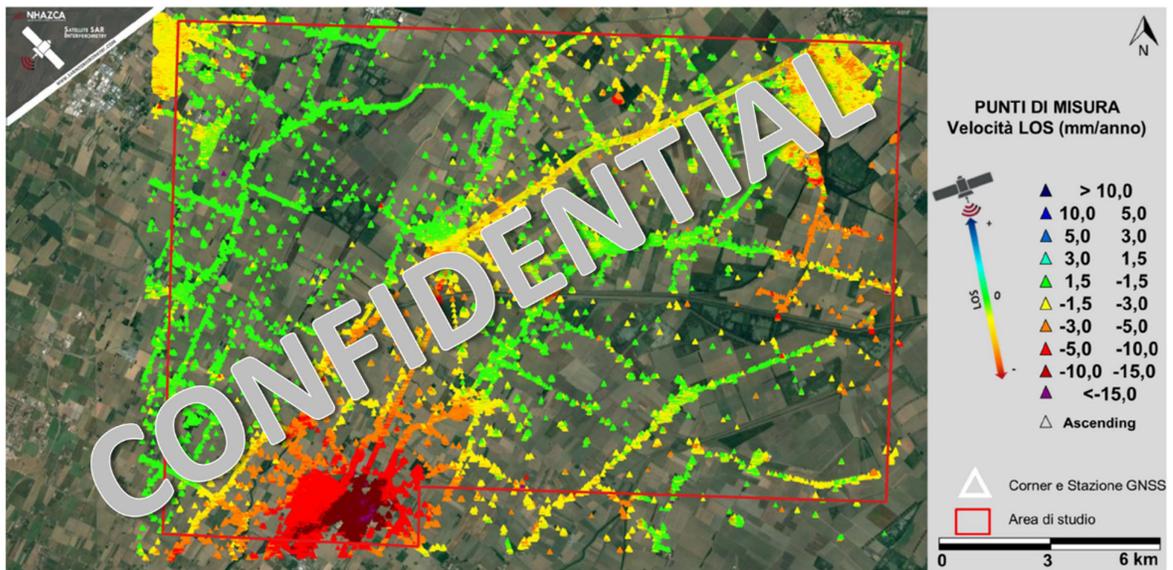


Figura 1 Esempio di risultato A-DInSAR in area in subsidenza. Sono visibili i punti di misura con colori che identificano gli spostamenti (in millimetri/anno) in allontanamento dal sensore (dal giallo al rosso), in avvicinamento al sensore (dal celeste al blu) e stabili (verde).

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 8 di 24                    |
| <br><br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

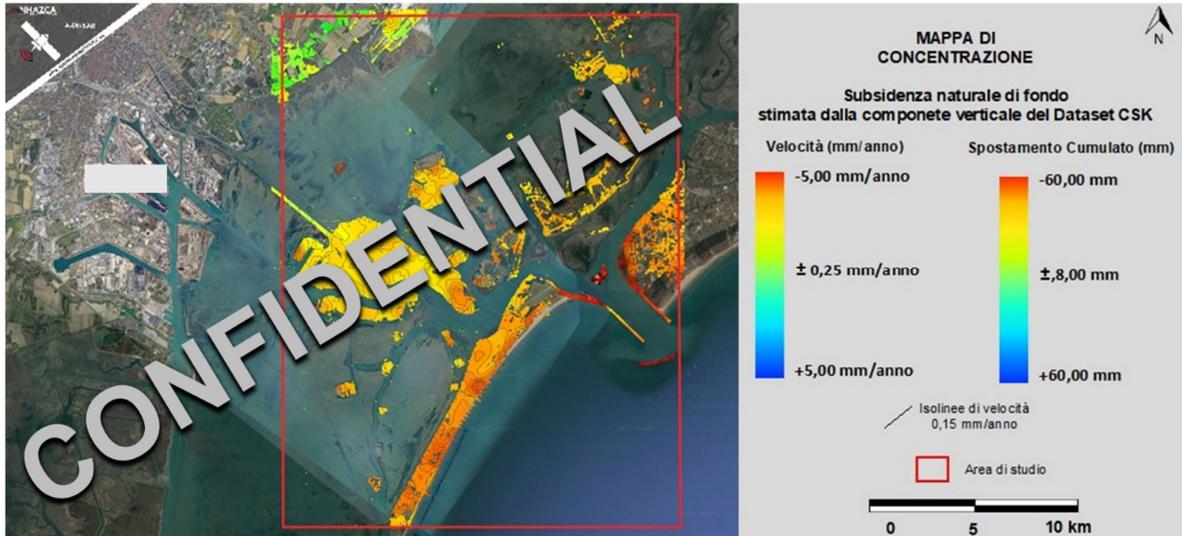


Figura 2. Esempio di mappe di iso-cedimento in area in subsidenza.

È bene notare che tutti i risultati derivanti dalle analisi interferometriche SAR satellitari sono relativi a misure eseguite lungo la linea di vista strumentale (**Line Of Sight – LOS**), ovvero il percorso congiungente il sensore al bersaglio riflettente a terra. In funzione della disponibilità di dati d'archivio o di nuova acquisizione, è possibile eseguire analisi su una stessa area con immagini acquisite da diverse geometrie orbitali (orbita “ascendente” e “discendente”), così da osservare il territorio da punti di vista differenti e complementari, consentendo una più corretta interpretazione dei processi deformativi. Attraverso analisi A-DInSAR condotte in doppia geometria orbitale è possibile, inoltre, scomporre le direzioni di spostamento osservate da satellite nelle componenti verticale e orizzontale (lungo la direzione E-W) (Figura 3).

|  |   |                            |                               |
|--|---|----------------------------|-------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004 |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 9 di 24                  |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><b>00</b>   |

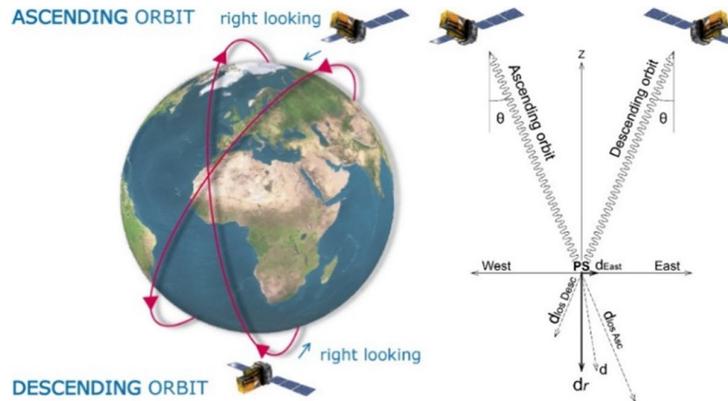


Figura 3. Principio dell'acquisizione di immagini SAR satellitari con diverse orbite (ascendente-discendente) e vantaggi derivanti dalla combinazione delle due tipologie di risultati.

Per il sistema di monitoraggio dell'area oggetto di studio, verranno applicati i dati relativi alla costellazione COSMO-SkyMed (Agenzia Spaziale Italiana – ASI), acquisiti dal sensore SAR ad alta risoluzione spaziale (~3x3 m), operante in banda X (frequenza 8 - 12 GHz, lunghezza d'onda pari a 3,1 cm).

La costellazione COSMO-SkyMed è un sistema composto da 4 satelliti "gemelli". Il primo satellite è stato lanciato nel giugno 2007, mentre la costellazione è stata completata nel novembre 2010 con il lancio del quarto satellite. Nel dicembre 2019 e successivamente nel febbraio 2022 sono stati lanciati i primi due dei quattro satelliti previsti della seconda generazione di COSMO-SkyMed. Grazie all'implementazione della seconda generazione di satelliti, l'ASI prevede l'estensione di vita utile della missione fino al 2028.

Tutti i satelliti sono dotati di sensori RADAR ad apertura sintetica (SAR) ad alta risoluzione in banda X (con lunghezza d'onda pari a 3,1 cm), in grado di osservare attraverso la copertura nuvolosa e in assenza di luce solare. Il sistema è stato concepito con scopi duali, ovvero civili e militari, mediante una condivisione regolamentata della risorsa. Il sensore può acquisire con diverse risoluzioni (inversamente proporzionale all'estensione areale dell'osservazione), a seconda delle configurazioni impostate: "Spotlight" (risoluzione metrica su un'area di pochi km quadrati), "Stripmap" (risoluzione di 3 m per l'acquisizione di una striscia continua di superficie terrestre larga 40 km) e "scanSAR" (risoluzione di 100 m per l'acquisizione di un'area di 200 km<sup>2</sup>).

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 10 di 24                   |
| <br><br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

### 3.2 Analisi InSAR Storica

La scelta delle immagini SAR satellitari è guidata dall'esigenza di garantire un'adeguata copertura spaziale e temporale di dati storici d'archivio e una quantità di immagini (*stack*) sufficiente per la tipologia di studio richiesta. L'osservazione in doppia geometria consente di ottimizzare la copertura dell'area di interesse e la stima degli spostamenti attraverso la misura degli stessi da punti di vista differenti.

Al fine di ridurre al minimo gli effetti legati alle distorsioni geometriche tipiche del dato SAR satellitare e di caratterizzare al meglio eventuali processi deformativi nelle aree di indagine, sono stati selezionati due *stack* (Figura 4), acquisiti rispettivamente in geometria orbitale ascendente e in geometria discendente dalla costellazione COSMO-SkyMed. Le immagini SAR che costituiscono il *dataset* rappresentano il risultato di una selezione di immagini SAR ritenute idonee per le analisi A-DInSAR, (Figura 5), che risultano così ripartite:

- 311 immagini in formato *Single Look Complex* (SLC) acquisite in geometria orbitale ascendente dal febbraio 2011 settembre 2023 (Figura 4 e Figura 5);
- 208 immagini in formato *Single Look Complex* (SLC) acquisite in geometria orbitale discendente da gennaio 2010 a ottobre 2023 (Figura 4 e Figura 5).

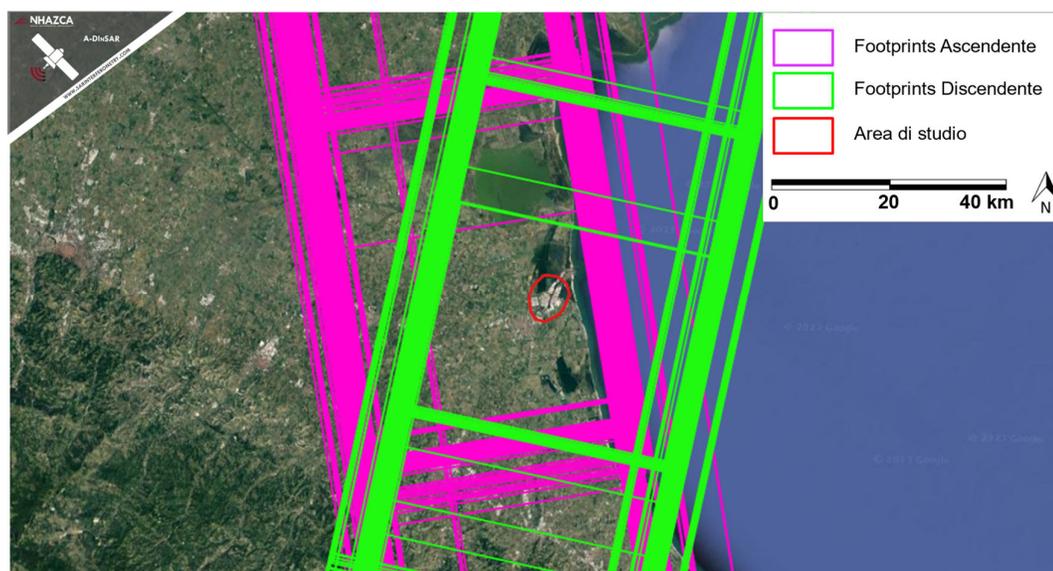


Figura 4 Footprint delle immagini SAR satellitari utilizzate nelle analisi A-DInSAR ubicazione del sito oggetto di studio.

|  |   |                            |                               |
|--|---|----------------------------|-------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004 |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 11 di 24                 |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><b>00</b>   |

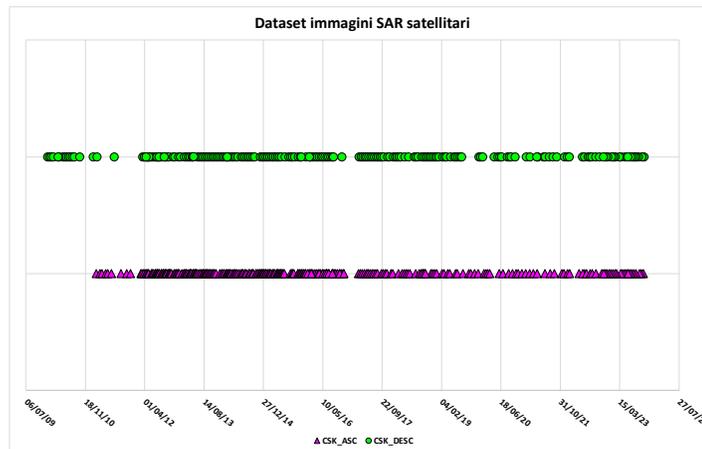


Figura 5 Distribuzione temporale delle acquisizioni COSMO che verranno impiegate nell'analisi storica

Le analisi (storica e monitoraggio) saranno condotte con metodi A-DInSAR (*Advanced Differential SAR Interferometry*) (Figura 2), basati sulla tecnica *Persistent Scatterers Interferometry* (PSI).

L'obiettivo delle attività sarà quello di fornire informazioni sul comportamento deformativo storico del sito, permettendo di effettuare uno "screening" a vasta scala delle deformazioni di lungo periodo che interessano sia le strutture e infrastrutture che i versanti e le porzioni di territorio limitrofe, per la caratterizzazione qualitativa e quantitativa di eventuali processi di instabilità preesistenti.

Si precisa che la tecnica A-DInSAR permette di osservare le deformazioni relative ad elementi naturali o antropici superficiali e che rientrano all'interno della cella di risoluzione del sensore utilizzato (3x3 metri per il caso di COSMO-SkyMed e 20x5 metri per il caso di Sentinel-1).

Al fine di ottenere informazioni utili a definire l'eventuale presenza e lo stato di attività dei processi deformativi in atto, saranno adottati specifici protocolli operativi che prevedono la costante supervisione di tecnici specializzati. Tali protocolli operativi, sviluppati per tutte le fasi di analisi, consentiranno di ottenere un'accurata stima delle deformazioni anche in presenza di processi caratterizzati da un comportamento non lineare nel tempo.

Attraverso le analisi A-DInSAR, sarà quindi possibile acquisire informazioni quantitative sugli eventuali spostamenti in corrispondenza dell'area di interesse, derivando i parametri caratteristici dei punti di misura.

I risultati delle elaborazioni verranno restituiti attraverso mappe su basi ortofotografiche che mostrano le informazioni di spostamento. Verrà adottata una scala di colori, espressa in mm/anno che rappresenta la velocità media di spostamento lungo la *Line-Of-Sight* satellitare con valori in allontanamento al sensore (colori

|   |   |                            |                                 |
|---|---|----------------------------|---------------------------------|
|  | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|   | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 12 di 24                   |
|  | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

dal giallo al rosso) e avvicinamento al sensore (colori dall'azzurro al blu); il colore verde indicherà aree con tassi di spostamento sui punti di misura non apprezzabile o non significativo.

Più in dettaglio, per ciascun punto di misura sarà possibile ottenere le seguenti informazioni:

- la posizione geografica (ovvero, le coordinate in latitudine, longitudine e quota);
- trend deformativo di spostamento (lungo la linea di vista – LOS) in millimetri/anno;
- la serie temporale di spostamento (lungo la LOS) in millimetri.

Le serie temporali di spostamento ottenute mediante le analisi A-DInSAR saranno analizzate, al fine di identificare eventuali variazioni dei trend di deformazione (*Trend Change Detection Analysis*). In particolare, le analisi sono volte all'identificazione di incrementi repentini della velocità di deformazione dei fenomeni di instabilità gravitativa di versante, in grado di generare condizioni di rischio ( Figura 6).

I risultati ottenuti mediante le analisi A-DInSAR e DInSAR saranno validati ed interpretati prendendo in considerazione le informazioni geologiche e geomorfologiche disponibili per l'area di interesse e le caratteristiche di eventuali fenomeni deformativi individuati, anche mediante l'integrazione di informazioni acquisite da studi bibliografici (ossia dall'analisi della letteratura scientifica per l'area di interesse) e dalla consultazione dei cataloghi IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani) e PAI (Piano di Assetto Idrogeologico).

|  |   |                            |                               |
|--|---|----------------------------|-------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004 |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 13 di 24                 |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><b>00</b>   |

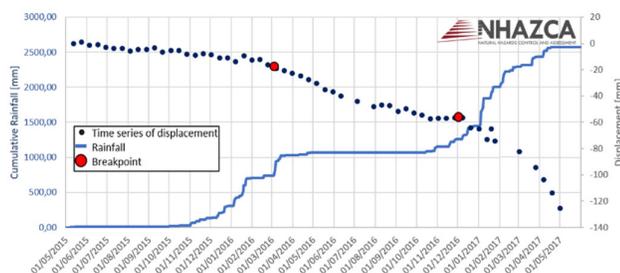


Figura 6. Esempio di Trend Change Detection Analysis e correlazione tra il dato di spostamento derivante da analisi A-DInSAR (punti neri) e le precipitazioni (linea blu). I breakpoint identificano i cambiamenti di trend della serie temporale di spostamento

### 3.3 Monitoraggio InSAR

Il sistema di monitoraggio SAR satellitare basato su tecniche A-DInSAR avrà come scopo quello di analizzare l'evoluzione di processi deformativi presenti individuati grazie all'analisi storica nonché permetterà di analizzare eventuali variazioni dei trend deformativi misurati e di mettere in luce l'insorgenza di eventuali fenomeni. Inoltre, sarà possibile monitorare l'evoluzione del territorio e delle strutture di interesse. Si propone che la durata del sistema di monitoraggio satellitare sia di dieci (10) anni e che le attività di aggiornamento siano eseguite periodicamente ogni dodici (12) mesi, ossia con cadenza annuale. Si precisa che, poiché la vita media utile di una missione satellitare con finalità di EO (*Earth Observation*) è di circa sei (6) anni, allo scadere di ogni annualità verranno identificate le costellazioni satellitari attive e adeguate al fine di poter proseguire con le attività. In Figura 7 si riportano le principali missioni satellitari SAR di EO attive e future.

|  |   |                            |                               |
|--|---|----------------------------|-------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004 |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 14 di 24                 |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><b>00</b>   |

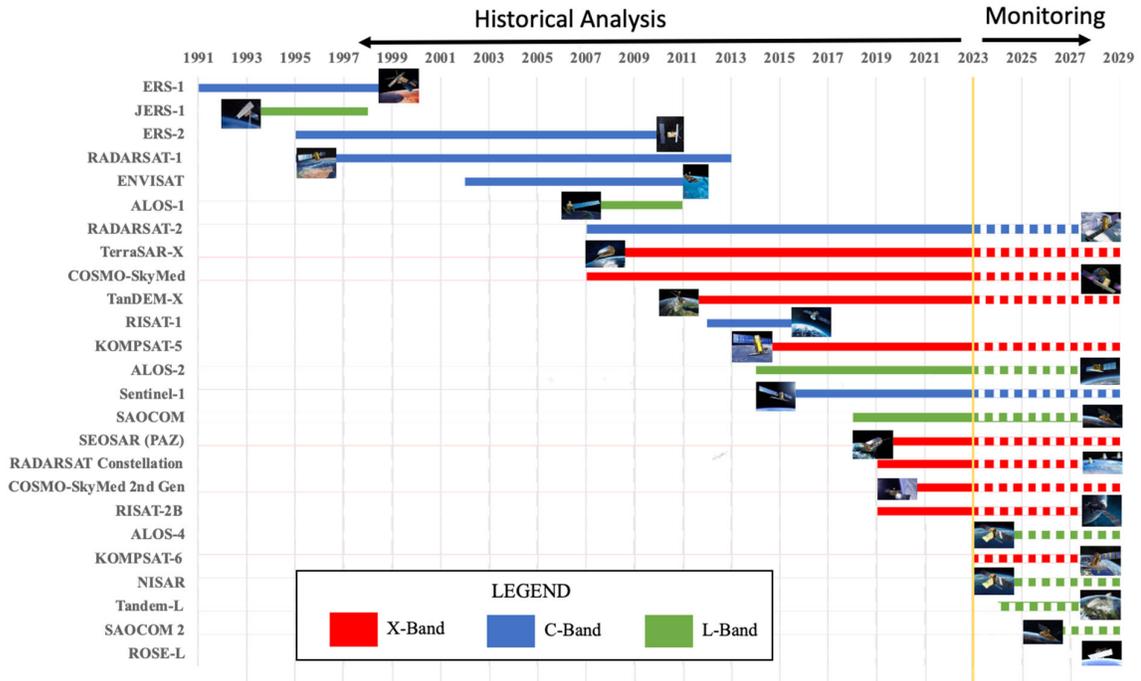


Figura 7. Schema riassuntivo delle principali missioni satellitari SAR di Earth Observation con durata prevista e future. In rosso si riportano quelle in banda X, in blu in banda C e in verde in banda L.

|   |   |                            |                                 |
|---|---|----------------------------|---------------------------------|
| <br><b>versalis</b>  | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|   | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 15 di 24                   |
| <br><br><small>NATURA - HAZARD'S CONTROL AND ASSESSMENT</small> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

#### 4 MONITORAGGIO A LUNGO TERMINE

In ottemperanza al punto c) dell'Oggetto della prescrizione, relativamente agli effetti a lungo termine, si pianifica di effettuare un'attività mirata a delineare una baseline storica delle condizioni climatiche sul piano atmosferico e marino a livello del sito, e descrivere le loro possibili evoluzioni nel XXI secolo secondo le proiezioni climatiche elaborate dai più autorevoli centri di calcolo a livello globale.

Con "analisi climatica" si intende l'identificazione, per variabili fisiche ritenute significative (ed esplicitate sotto), il comportamento medio annuale, il ciclo stagionale e la frequenza ed intensità degli eventi estremi tramite l'utilizzo di appositi indici. Tale analisi viene effettuata su un periodo di almeno trent'anni, come indicato dalle linee guida della World Meteorological Organization (WMO).

In accordo con l'Oggetto della prescrizione, in questa fase si pone particolare attenzione a quanto concerne gli eventi che possono influenzare il livello idrico nel sito, come andamenti cronici delle precipitazioni e del livello del mare, ed eventi estremi come alluvioni, mareggiate e fenomeni di acqua alta.

Questa fase, oltre a costituire un'analisi autonoma relativa all'inquadramento climatico passato, presente e futuro del sito, risulta indispensabile anche per la valutazione delle soglie attualmente utilizzate e per la calibrazione di un modello previsionale sul breve periodo per gli eventi di innalzamento idrico.

##### 4.1 Variabili per l'analisi storica

L'analisi della serie storica per la definizione della climatologia locale verrà effettuata sul periodo di riferimento 1990-2022.

Per le variabili atmosferiche si utilizzeranno i dati del sistema di rianalisi ERA5 (European ReAnalysis version5) on single level (Hans Hersbach, 2020) prodotto dallo European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) e distribuito tramite la piattaforma [Copernicus Climate Data Store](#) (CdS).

Tale modello si basa sull'integrazione di osservazioni e modelli fisici per creare un dataset globale coerente con una risoluzione spaziale di 0.25°x 0.25° ([ERA5: data documentation - Copernicus Knowledge Base - ECMWF Confluence Wiki](#)). I dati sono disponibili con una frequenza oraria.

Nella tabella seguente vengono riportate le variabili che si propone di analizzare.

| Nome              | Unità di misura | Descrizione   |
|-------------------|-----------------|---|
| Temperatura a 2 m | K               | Questo parametro indica la temperatura dell'aria a un'altezza di 2 metri sopra la superficie terrestre, marina o di acque interne. La temperatura a 2 metri viene calcolata tramite un processo di interpolazione tra il livello inferiore del modello atmosferico e la superficie terrestre, considerando le condizioni atmosferiche prevalenti. Questo parametro viene misurato e rappresentato in unità di temperatura Kelvin (K). È |

|   |   |                            |                                 |
|---|---|----------------------------|---------------------------------|
|  | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|   | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 16 di 24                   |
|  | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |
|   |   |                            |                                 |

|                               |       |  |
|-------------------------------|-------|--|
|                               |       | possibile convertire la temperatura in gradi Celsius (°C) sottraendo 273,15 dalla misura in Kelvin.  |
| Componente v del vento a 10 m | m s-1 | Questo parametro rappresenta la componente meridionale del vento a 10 metri di altezza. Indica la velocità orizzontale dell'aria che si sposta verso nord, misurata a dieci metri sopra la superficie terrestre, e viene espressa in metri al secondo. È importante considerare alcune precauzioni quando si confronta questo parametro con le osservazioni del vento, poiché tali osservazioni possono variare su piccola scala spaziale e temporale e possono essere influenzate dalle caratteristiche locali del terreno, dalla presenza di vegetazione e dagli edifici circostanti. Questi fattori sono rappresentati solo in modo mediato nel Sistema Integrato di Previsione del Centro Europeo per le Previsioni Meteorologiche a Medio Termine (ECMWF IFS).  |
| Componente u del vento a 10 m | m s-1 | Questo parametro rappresenta la componente zonale del vento a 10 metri di altezza. Indica la velocità orizzontale dell'aria che si sposta verso est, misurata a dieci metri sopra la superficie terrestre, e viene espressa in metri al secondo. È importante considerare alcune precauzioni quando si confronta questo parametro con le osservazioni del vento, poiché tali osservazioni possono variare su piccola scala spaziale e temporale e possono essere influenzate dalle caratteristiche locali del terreno, dalla presenza di vegetazione e dagli edifici circostanti. Questi fattori sono rappresentati solo in modo mediato nel Sistema Integrato di Previsione del Centro Europeo per le Previsioni Meteorologiche a Medio Termine (ECMWF IFS).  |
| Precipitazione totale         | m     | Questo parametro rappresenta l'acqua liquida e solida cumulata, composta da pioggia e neve, che cade sulla superficie terrestre. È composto dalla somma delle precipitazioni su larga scala e delle precipitazioni convettive. Nel sistema di previsione integrato ECMWF (IFS), le precipitazioni su larga scala sono generate dallo schema delle nubi. Lo schema delle nubi rappresenta la formazione e la dissipazione delle nuvole le conseguenti precipitazioni su larga scala, dovute ai cambiamenti nelle quantità atmosferiche (come pressione, temperatura e umidità) previsti direttamente dall'IFS a scale spaziali più grandi della griglia. La precipitazione convettiva è generata dallo schema di convezione nell'IFS, che rappresenta la convezione a scale spaziali più piccole della griglia. Questo parametro non include la nebbia, la rugiada o le precipitazioni che evaporano nell'atmosfera prima di atterrare sulla superficie della Terra. L'unità di questo parametro è la profondità in metri |

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 17 di 24                   |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | di acqua equivalente. È la profondità che l'acqua avrebbe se fosse distribuita uniformemente sulla superficie della cella della griglia. È necessario prestare attenzione quando si confrontano i parametri del modello con le osservazioni, poiché le osservazioni si riferiscono a un particolare punto nello spazio e nel tempo, mentre i modelli rappresentano medie su una cella della griglia. |
|--|--|--|

Per quanto riguarda le variabili marine, si utilizzeranno i dati provenienti dai datasets *Global sea level change time series from 1950 to 2050 derived from reanalysis and high resolution CMIP6 climate projections (GSL)* e *Ocean surface wave time series for the European coast from 1976 to 2100 derived from climate projections (OSW)*, entrambi distribuiti tramite la piattaforma [Copernicus Climate Data Store](#) (CdS).

GSL fornisce indicatori variabili riguardanti il livello dell'acqua, tenendo in considerazione maree, innalzamento del livello del mare e mareggiate. I dati sono stati ricavati combinando un modello idrodinamico (*Deltares Global Tide and Surge Model (GTSM)* versione 3.0), capace di simulare il livello dell'acqua con una frequenza di 10 minuti, con i dati di variabili atmosferiche ricavate da ERA5. I dati sono disponibili dal 1979 al 2018 con risoluzione oraria. OSW è stato realizzato utilizzando il modello ECMWF's Wave Model (SAW), utilizzando come forzante il vento superficiale ricavato da ERA5. OSW copre il periodo tra il 2001 e il 2017 e ha una risoluzione di circa 30 km seguendo la costa europea sull'isolinea batimetrica a 20m. La risoluzione varia con la posizione; vicino alla costa, come nel caso in analisi, la risoluzione disponibile è di circa 10 km.

Le variabili che si propone di analizzare dal set di dati GSL sono le seguenti:

| Nome                      | Unità di misura | Descrizione  |
|---------------------------|-----------------|--|
| Livello medio del mare    | m               | Il livello medio annuo del mare rispetto al periodo di riferimento 1986-2005. I contributi all'innalzamento del livello del mare includono l'espansione termica dell'oceano, i cambiamenti nella circolazione oceanica, i contributi dati dallo scioglimento della calotta glaciale e l'aggiustamento glacio-isostatico (ma non la subsidenza o la tettonica). |
| Livello totale dell'acqua | m               | Il livello totale dell'acqua è costituito dalla marea, dalle mareggiate e dai cambiamenti del livello medio annuale del mare. Il livello di riferimento verticale è il livello medio del mare (MSL) nel periodo di riferimento 1986-2005.  |

Le variabili che si propone di analizzare dal set di dati OSW sono le seguenti:

| Nome | Unità di misura | Descrizione |
|------|-----------------|-------------|
|------|-----------------|-------------|

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 18 di 24                   |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

|                                 |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| Altezza significativa dell'onda | m | Questo parametro rappresenta l'altezza media del terzo più alto delle onde superficiali del mare generate dal vento. L'altezza è calcolata come la distanza verticale tra la cresta e il ventre dell'onda. Il campo delle onde superficiali dell'oceano/mare è costituito da una combinazione di onde con diverse altezze, lunghezze e direzioni (noto come spettro d'onda bidimensionale). Lo spettro delle onde può essere scomposto in onde vento-mare, che sono direttamente influenzate dai venti locali, e onde swell, le onde generate dal vento in un luogo e in un momento diversi. Questo parametro tiene conto di entrambi. Più precisamente, questo parametro è quattro volte la radice quadrata dell'integrale su tutte le direzioni e tutte le frequenze dello spettro d'onda bidimensionale. |
| Periodo medio dell'onda         | m | Questo parametro rappresenta il periodo medio delle onde generate dai venti e dalle mareggiate locali. Il periodo d'onda è il tempo medio impiegato da due creste d'onda consecutive, per passare attraverso un punto fisso. Il campo delle onde superficiali dell'oceano/mare è costituito da una combinazione di onde con diverse altezze, lunghezze e direzioni (noto come spettro d'onda bidimensionale). Questo parametro viene calcolato dal reciproco della frequenza corrispondente al valore medio dello spettro delle onde di frequenza. Lo spettro delle onde di frequenza si ottiene integrando lo spettro delle onde bidimensionali in tutte le direzioni.   |

#### 4.2 Variabili per l'analisi delle proiezioni per il XXI secolo

L'analisi delle proiezioni climatiche verrà svolta su tre orizzonti temporali (2020-2035 breve periodo, 2035-2050 medio periodo, 2050-2070 lungo periodo), utilizzando i risultati di alcuni modelli di calcolo elaborati dai più autorevoli centri di calcolo a livello globale.

Questi tre periodi saranno confrontati con i risultati ottenuti dai modelli stessi sul periodo storico (1950-2014), al fine di identificare i maggiori cambiamenti attesi.

Come indicato dall' *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, le analisi per le proiezioni vengono effettuate su tre diversi scenari, chiamati *Shared Socioeconomic Pathways (SSP)*, che descrivono diversi scenari potenziali per l'andamento delle emissioni di gas climalteranti. Ai fini dell'analisi sono stati considerati gli scenari seguenti:

- SSP1 – 2.6: scenario ottimistico nel quale le emissioni globali di CO2 vengono ridotte drasticamente raggiungendo lo zero netto dopo il 2050 grazie ad una evoluzione delle società verso la sostenibilità ambientale e sociale e le temperature si stabilizzano intorno a 1,8°C in più entro la fine del secolo;

|  |   |                            |                               |
|--|---|----------------------------|-------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004 |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 19 di 24                 |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><b>00</b>   |

- SSP 2 – 4.5: scenario intermedio nel quale le emissioni di CO2 si aggirano attorno ai livelli attuali prima di iniziare a diminuire a metà del secolo, ma non raggiungono lo zero netto entro il 2100. I fattori socioeconomici seguono le loro tendenze storiche, senza cambiamenti di rilievo. I progressi verso la sostenibilità sono lenti, con sviluppo e reddito che crescono in modo non uniforme. In questo scenario, le temperature salgono di 2,7°C entro la fine del secolo;
- SSP5 – 8.5: scenario nel quale gli attuali livelli di emissioni di CO2 raddoppiano all'incirca entro il 2050. L'economia globale cresce rapidamente, ma questa crescita è alimentata dallo sfruttamento dei combustibili fossili e da stili di vita ad alta intensità energetica. Entro il 2100, la temperatura media globale è di ben 4,4°C in più.

Per le variabili atmosferiche si utilizzeranno i dati estratti dal dataset *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections (NEX-GDDP-CMIP6)*. NEX-GDDP-CMIP6 viene ottenuto tramite un processo di *downscaling* (ovvero di aumento, tramite un procedimento statistico, della risoluzione spaziale di un modello) effettuato su alcuni dei modelli ritenuti più affidabili del progetto [Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 \(CMIP6\)](#). I dati sono disponibili in formato giornaliero e coprono l'intero globo con una risoluzione di 0.25° x 0.25°.

In tabella sono riportate le variabili che saranno utilizzate per l'analisi:

| Nome                               | Unità di misura | Descrizione   |
|------------------------------------|-----------------|---|
| Temperatura superficiale dell'aria | K               | La variabile è composta da tre valori giornalieri, uno per la temperatura media, uno per la temperatura massima e uno per la temperatura minima |
| Precipitazione totale              | Kg m-2 s-1      | La variabile rappresenta la precipitazione totale cumulata in un giorno   |
| Velocità del vento superficiale    | m/s             | La variabile rappresenta il vento medio giornaliero   |

Come detto in precedenza, NEX-GDDP-CMIP6 mette a disposizione un insieme di modelli. Tale insieme viene utilizzato per identificare, per ogni scenario, l'andamento medio previsto tramite la media aritmetica dei modelli, e due bande di confidenza rappresentate rispettivamente dal 5° e dal 95° percentile dei modelli. In archivio del NEX-GDDP-CMIP6 sono disponibili più di 30 modelli. Si noti però che non tutti i modelli sono completi di tutte le variabili e/o gli scenari.

Relativamente alle variabili marine verranno usati i dati estratti dai dataset GSL e OSW descritti precedentemente. Per entrambi si tenga in considerazione che le forzanti meteorologiche non sono più estratte da ERA5 ma da un gruppo di modelli scelti tra quelli disponibili in CMIP6. Per le variabili utilizzate si faccia sempre riferimento al capitolo "Variabili per l'analisi storica".

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 20 di 24                   |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

### 4.3 Metodi per l'analisi dei dati climatici

La prima analisi sarà indirizzata ad individuare eventuali tendenze nei dati identificati nelle sezioni precedenti. A tal fine, separatamente per i dati storici e per le proiezioni climatiche, si eseguiranno dei grafici illustrativi delle serie temporali, in cui verrà posto in risalto l'andamento generale tramite un processo di filtro della variabilità inter-annuale, effettuato con una media mobile. Inoltre si ricercheranno eventuali trend lineari nelle serie temporali, utilizzando lo stimatore non parametrico di [Sen-Theil](#), accompagnato con una verifica della significatività effettuata col metodo di [Mann-Kendall](#).

Successivamente, l'analisi si focalizzerà sui quattro periodi di riferimento principali già evidenziati nelle sezioni precedenti:

- 1990-2022 per il periodo storico
- 2020-2035 per le proiezioni nel breve periodo
- 2035-2050 per le proiezioni nel medio periodo
- 2050-2070 per le proiezioni nel lungo periodo

Per ognuno di questi periodi si metteranno in luce le caratteristiche principali di ogni variabile, in termini di valori medi, varianza e cicli stagionali. Queste caratteristiche verranno anche comparate tra loro per identificare eventuali cambiamenti significativi.

Infine, l'analisi si sposterà sull'identificazione degli eventi estremi e sulla loro evoluzione in termini di probabilità ed intensità. A tal fine, saranno calcolati alcuni indici climatici di cui verrà effettuata l'analisi temporale in termini di trend e significatività del trend. Saranno inoltre calcolati i valori estremi su diversi periodi di ritorno per alcune grandezze, raggruppando i dati sui periodi di riferimento identificati prima.

Vengono riportati di seguito gli indici di eventi estremi che saranno considerati:

| Variabile             | Indice   | Tipo indice     | Note                                       |
|-----------------------|--|-----------------|--|
| Temperatura dell'aria | Numero di giorni caldo estremo (Tmax > 35°C)           | Serie temporale |  |
|                       | Numero di giorni caldo anomalo (Tmax > 99 Pct storico) | Serie temporale | Calcolato solo sulle proiezioni climatiche |
|                       | Numero di giorni di gelo (Tmin<0)                      | Serie temporale |  |
| Precipitazioni        | Precipitazione massima giornaliera                     | Serie temporale |  |
|                       | Numero di giorni secchi                                | Serie temporale |  |

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
| <br><b>versalis</b>   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 21 di 24                   |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

|                                 |                                |                               |  |
|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|
|                                 | Intensità degli eventi estremi | Valore per periodo di ritorno | Calcolato per 2,5,10,20,50,100 anni di perdio di ritorno |
| Altezza significativa dell'onda | Intensità degli eventi estremi | Valore per periodo di ritorno | Calcolato per 2,5,10,20,50,100 anni di perdio di ritorno |
| Livello totale dell'acqua       | Intensità degli eventi estremi | Valore per periodo di ritorno | Calcolato per 2,5,10,20,50,100 anni di perdio di ritorno |

Al termine di questa analisi si potrà descrivere il comportamento meteo climatico passato ed atteso nell'area del sito, sia in termini cronici, che stagionali e per eventi estremi. I risultati di questa analisi saranno poi indispensabili per le attività successive, in particolare per 1) la definizione delle soglie e dei criteri per le loro valutazioni e 2) per l'implementazione e la validazione di un modello in continuo nel breve periodo.

|   |   |                            |                                 |
|---|---|----------------------------|---------------------------------|
|  | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|   | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 22 di 24                   |
|  | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

## 5 VERIFICA E ADEGUAMENTO DELLE SOGLIE

Attualmente, secondo la Procedura RSI-HSE-EM-05 “Pericolo per Allagamento del Canale Candiano”, vengono riconosciute tre diverse soglie di livello idrometrico nel Canale Candiano, che portano all’attivazione di diverse procedure per la gestione del pericolo.

Il livello di riferimento, anche detto zero media maree, corrisponde all’incirca alla quota 0+00 piano stradale e ferroviario di stabilimento.

Le tre soglie sono definite in base ai criteri riportato sotto:

- Stato di allerta: +1.00 dalla quota zero media maree
- Stato di allarme 1: +1.20 dalla quota zero media maree
- Stato di allarme 2: +1.30 dalla quota zero media maree

L’attività di verifica e adeguamento delle soglie sarà indirizzata a mettere in relazione i risultati ottenuti nella FASE 2 (Interferometria SAR) e FASE 3 (Monitoraggio a lungo termine) con tali soglie. In tal senso si terrà in considerazione che:

- I fenomeni di variazione dell’elevazione del terreno possono portare, nel lungo periodo, ad una variazione della quota zero maree.
- La variazione cronica di livello medio dell’acqua può portare, in maniera differente sui diversi scenari e orizzonti temporali, ad una variazione della quota zero maree.
- Le variazioni riguardo all’intensità e frequenza degli eventi estremi possono portare, in maniera differente sui diversi scenari e orizzonti temporali, ad una variazione dell’intensità e della frequenza con cui si presentano situazioni di superamento delle soglie.

L’analisi sarà quindi mirata a verificare l’adeguatezza delle soglie attualmente utilizzate in base ai cambiamenti cronici attesi nella quota zero maree, e di conseguenza a valutare i possibili impatti che tali modifiche, congiuntamente al modificarsi degli eventi estremi, avranno con l’incidenza dei casi di superamento delle soglie.

Relativamente alla variazione del livello medio del mare, si tenga conto che si effettuerà l’analisi sullo scenario pessimistico (e di conseguenza quello che prevede un maggior incremento del livello del mare), determinando le conseguenze della peggior situazione ipotizzabile. Tale scelta è dettata da un lato dalla disponibilità di dati al riguardo, dall’altro dal fatto che lo scenario peggiore fornisce l’estremo superiore per l’incertezza dell’analisi.

In generale, tutte le analisi svolte su proiezioni climatiche sono affette da incertezza, che viene restituita tramite l’indicazione di bande di confidenza. Tutti i risultati presentati andranno quindi intesi come indicazioni di evoluzione probabile a seconda dello scenario considerato, con un’incertezza che, a seconda dei casi, potrà essere anche molto ampia e verrà documentata in fase di relazione.

|  |   |                            |                               |
|--|---|----------------------------|-------------------------------|
|   | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004 |
|  | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 23 di 24                 |
| <br> | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><b>00</b>   |

Analogamente alla FASE 3, i risultati saranno restituiti sotto forma di relazione. Eventuali aggiornamenti seguono lo stesso schema della FASE 3, ovvero aggiornamento annuale relativamente alla baseline a seconda del rilascio di nuove generazioni di modelli climatici per le proiezioni.

## 6 MONITORAGGIO DELLE SOGLIE

In ottemperanza al punto c) dell'Oggetto della prescrizione, questa fase prevede la realizzazione di un sistema di previsione in continuo nel breve periodo dei livelli idrici nel sito dell'attività, al fine di identificare e notificare le situazioni compatibili con il fermo temporaneo dell'attività stessa.

Il modello sviluppato effettuerà, a cadenza giornaliera, una previsione dei livelli idrici per i dieci giorni successivi e provvederà a notificare eventuali previsioni di valori sopra le soglie analizzate nella FASE 4.

Il monitoraggio verrà effettuato tramite un modello predittivo, sviluppato seguendo un processo che comprende i seguenti passi:

- La creazione di un'infrastruttura digitale per il reperimento e mantenimento dei dati necessari, i quali comprendono dati storici del livello idrometrico in prossimità del sito, i dati storici per le variabili atmosferiche e marine, e i dati previsionali forniti dal ECMWF.
- L'identificazione del miglior set di variabili necessario per una descrizione esaustiva del livello idrometrico.
- La calibrazione di un modello di machine o deep learning per la previsione del livello idrometrico nel sito.
- La creazione di un sistema di notifica che si attiverà nel caso in cui il valore previsto superi una determinata soglia.

### 6.1 Fonti dei dati

Per la creazione, la calibrazione e l'operatività del modello sono necessarie due diverse tipologie di dato:

- I dati storici relativi alle variabili predittive (ovvero quelle con cui effettuare la previsione) e quelli relativi alla variabile predetta (ovvero la variabile che si è interessati a monitorare, in questo caso il livello idrometrico del Canale Candiano). Per le variabili predittive verranno inizialmente presi in considerazione tutti i dati riportati nella sezione **Variabili per l'analisi storica**.
- I dati delle previsioni meteorologiche, che saranno usati in fase operativa del modello per la previsione della variabile monitorata. Questi dati devono essere consistenti con quelli storici, in termini di variabile descritta e metodo per l'ottenimento del dato. A tal fine, verranno utilizzati i dati provenienti dai modelli [Atmospheric Model high resolution 10-day forecast \(Set I - HRES\)](#) per le variabili atmosferiche e [Ocean Wave Model high resolution 10-day Forecast \(Set II - HRES-WAM\)](#) per le variabili marine. Questi modelli sono realizzati dall'ECMWF, e hanno una risoluzione spaziale di 0.1°x0.1° e una risoluzione temporale oraria. La scelta delle variabili utilizzate dal modello sarà effettuata in fase di calibrazione del modello.

|   |   |                            |                                 |
|---|---|----------------------------|---------------------------------|
|  | SITO/LOCALITA'<br><b>RAVENNA</b>  |                            | N° COMMESSA<br>IN/INDU/220004   |
|   | TITOLO<br><b>Istanze di Verifica Ottemperanza condizioni ambientali presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Ravenna</b> |                            | Pag. 24 di 24                   |
|  | N°DOC Appaltatore<br>23652877/22622   | FUNZIONE EMITTENTE<br>QHSE | INDICE DI REV.<br><br><b>00</b> |

## 6.2 Creazione e calibrazione del modello

La previsione del livello idrometrico nel sito sarà effettuata da un modello basato sull'intelligenza artificiale, in particolare sui cosiddetti modelli di apprendimento automatico (o machine learning, ML) e apprendimento profondo (o deep learning DL).

Questi modelli esplorano i dati relativi al periodo storico e, tramite l'utilizzo di appositi algoritmi, stabiliscono relazioni statistiche tra le variabili predittive e le variabili predette. In tal senso la fase di creazione e calibrazione del modello mira a:

- Stabilire le variabili che risultano più utili per l'estrapolazione di relazioni tra variabili predittive e variabile predetta.
- Stimare la struttura del modello utilizzato, anche detta architettura del modello.
- Stabilire le migliori condizioni in cui l'algoritmo è in grado di estrapolare le relazioni tra variabili predittive e predette, anche detta fase di addestramento.
- Stabilire quali sono le metriche migliori per la descrizione dell'affidabilità del modello, e stabilire come ottenere risultati soddisfacenti per tali metriche.

Le operazioni sopra descritte possono essere sviluppate scegliendo tra un ampio ventaglio di opzioni, fornite dalla letteratura scientifica di riferimento. In tal senso, risulta poco funzionale scegliere tra tali opzioni a priori, in quanto le scelte saranno guidate da valutazioni che andranno fatte in corso d'opera.

Tenendo conto del contesto di cambiamento climatico, che può influire sulle relazioni tra variabili meteorologiche e livello idrico, vengono previsti aggiornamenti del modello con cadenza annuale.

Il sistema di notifica utilizzerà un sistema di distribuzione di posta elettronica per comunicare i valori sopra soglia. Tutti i valori relativi al monitoraggio (previsioni meteorologiche, previsioni eventi meteo-climatici estremi, valori idrometrici previsti) saranno inoltre resi disponibili, tramite una piattaforma digitale dedicata (dashboard), aggiornata in tempo reale.