

**Progetto Preliminare DNPT: Criteri e contenuti per la definizione del  
programma delle indagini per la qualificazione del sito**

Codice DN GS 00200

Fase del progetto -

Data 15/12/2020 Pag. 1



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## I N D I C E

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
1.1	OGGETTO E SCOPO DEL DOCUMENTO	4
1.2	STRUTTURA DEL DOCUMENTO	6
1.3	PROCESSO DI LOCALIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE PER LA QUALIFICAZIONE DEL SITO – APPROCCIO IAEA E CRITERI ISPRA	7
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>14</b>
2.1	FINALITA' DEL PROGRAMMA DI INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE (IL RUOLO CENTRALE DELLA SICUREZZA)	14
2.2	LE COMPONENTI DEL PROCESSO DI CARATTERIZZAZIONE	15
2.3	GESTIONE E CONDIVISIONE DEI DATI DI CARATTERIZZAZIONE	20
<b>3</b>	<b>CONTESTO NORMATIVO DI RIFERIMENTO</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>MONITORAGGIO</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>PROCESSO DI LOCALIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE PER LA QUALIFICAZIONE DEL SITO – LINEE GUIDA PER LA DEFINIZIONE DEL PROGRAMMA DI INDAGINI</b>	<b>25</b>
5.1	AMBITI DI CARATTERIZZAZIONE	25
5.2	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – GEOLOGIA E GEOTECNICA	31
5.3	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – IDROGEOLOGIA	44
5.4	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – GEOCHIMICA	53
5.5	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – FAGLIAZIONE SUPERFICIALE	60
5.6	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – SISMICITA'	70
5.7	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – GEOMORFOLOGIA	77
5.8	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – IDROLOGIA	88
5.9	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA	97
5.10	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – AGENTI FISICI	104
5.11	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – ASPETTI NATURALISTICI	108
5.12	AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – ASPETTI ANTROPICI	124
<b>6</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b>	<b>140</b>

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 1 PREMESSA

Il Decreto Legislativo n.31 del 15 febbraio 2010 e ss.mm.ii. (*Disciplina dei sistemi di stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi, nonché benefici economici, a norma dell'articolo 25 della legge 23 luglio 2009, n. 99*), disciplina:

- a) *la localizzazione del Deposito Nazionale (DN), incluso in un Parco Tecnologico comprensivo di un Centro di studi e sperimentazione, destinato ad accogliere i rifiuti radioattivi provenienti da attività pregresse di impianti nucleari e similari, nel territorio nazionale;*
- b) *le procedure autorizzative per la costruzione e l'esercizio del Deposito Nazionale e del Parco Tecnologico;*
- c) *i benefici economici relativi alle attività di esercizio del Deposito Nazionale, da corrispondere in favore delle persone residenti, delle imprese operanti nel territorio circostante il sito e degli enti locali interessati.*

L'art. 27 (*Autorizzazione unica per la costruzione e l'esercizio del Parco Tecnologico*) del decreto definisce in dettaglio la procedura per la localizzazione del Deposito Nazionale – Parco Tecnologico (DNP), stabilendone i tempi, i passaggi istituzionali, la documentazione tecnica da produrre, le fasi operative, ecc.. In particolare i commi 1 e 1bis dell'articolo in parola regolano la procedura di elaborazione, validazione e autorizzazione della proposta di *Carta Nazionale delle Aree Potenzialmente Idonee* (CNAPI) mentre il comma 2 definisce i contenuti e i documenti del *Progetto Preliminare* che deve essere elaborato da Sogin; tra questi, alla lettera e), viene richiesto il documento *Criteria e contenuti per la definizione del programma delle indagini per la qualificazione del sito*.

Come previsto al comma 10 dell'art. 27 del decreto, successivamente all'individuazione di una o più aree idonee *oggetto di intesa*, Sogin deve inoltre eseguire, rispettando l'ordine di idoneità di seguito definito, "indagini tecniche" finalizzate all'individuazione del sito definitivo e alla sua completa qualificazione ai fini della valutazione di sicurezza, della progettazione definitiva, dell'avvio della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) e del programma di monitoraggio delle componenti ambientali e antropiche del sito e del suo intorno significativo.

A chiarimento di quanto sopra, si ricorda che un sito potenzialmente idoneo alla realizzazione del DNP ha un'estensione non inferiore a 150 ha, mentre un'area idonea può avere estensione molto superiore e permettere quindi più soluzioni di localizzazione del sito. Pertanto, in caso di presenza di più aree idonee oggetto di intesa oppure di una sola area con più siti possibili, la selezione del sito procederà progressivamente a partire dalle aree con Intesa risultanti più favorevolmente classificate nell'Ordine di Idoneità che verrà definito a valle del Seminario Nazionale sulla base del documento SOGIN DN GS 00226 "Proposta di ordine di idoneità delle aree CNAPI e relativa procedura", pubblicato contestualmente alla CNAPI.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 1.1 OGGETTO E SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento costituisce l'elaborato che indica le linee guida per la programmazione delle indagini tecniche che dovranno essere eseguite per l'individuazione e la caratterizzazione, ai fini della qualificazione, del sito definitivo che ospiterà il Deposito Nazionale ai sensi dell'art. 27, comma 2, lettera e) del D.Lgs.31/2010 e ss.mm.ii..

L'intero processo di localizzazione che prevede la selezione delle aree idonee e individuazione, la caratterizzazione e la conferma del sito, viene qui considerato funzionale alla sua *qualificazione*, intendendo con tale termine il riconoscimento formale e definitivo da parte delle Amministrazioni di competenza dell'idoneità del sito proposto.

La rilevanza dell'infrastruttura del Deposito Nazionale – in termini di vita nominale di progetto, livello di sicurezza e prestazioni attese – impone di articolare il processo di caratterizzazione secondo un approccio che consenta di raggiungere, nei tempi limitati previsti dalla normativa (D.lgs. 31/2010 e ss.mm.ii), un elevato livello di approfondimento del *modello di sito*<sup>1</sup> su cui basare l'analisi di sicurezza<sup>2</sup>, la progettazione definitiva<sup>3</sup>, la redazione dello Studio di Impatto Ambientale (SIA) e l'avvio del programma di monitoraggio. Il risultato finale atteso dell'intero processo di caratterizzazione è quindi la costituzione della base conoscitiva adeguata alla *qualificazione* del sito definitivo e alla predisposizione della documentazione a corredo dell'istanza per il rilascio dell'*Autorizzazione Unica*.

Scopo primario del presente documento è la definizione dei criteri generali cui attenersi:

1. nella predisposizione del programma di indagini per la caratterizzazione e qualificazione del sito;
2. nell'acquisizione ed elaborazione dei dati sperimentali;
3. nel dimensionamento e gestione del processo di caratterizzazione;
4. nella definizione del programma di monitoraggio;
5. nella gestione e condivisione dei dati.

<sup>1</sup> Per "modello di sito" si intende la rappresentazione concettuale quali-quantitativa, rigorosa e completa dell'assetto del territorio di un sito e del suo intorno significativo, della sua storia evolutiva e dei possibili scenari futuri; l'elaborazione del "modello di sito" è un processo multidisciplinare complesso che coinvolge competenze legate allo studio della *geosfera* (le rocce, le terre e tutti i materiali che costituiscono il sottosuolo, il loro assetto geometrico-strutturale e le loro caratteristiche; le forme, i processi e i fenomeni legati alla dinamica terrestre, a suolo e sottosuolo, alla circolazione idrica sotterranea e superficiale), della *biosfera o ecosfera* (la parte della Terra in cui sono presenti gli organismi viventi; è costituita sia da elementi abiotici sia biotici), dell'*antroposfera* (la porzione dell'ambiente fisico connessa alle attività umane; comprende gli aspetti culturali, tecnologici, sociali, economici e sanitari, l'ambiente costruito, l'uso del suolo e delle risorse) e delle loro interazioni.

<sup>2</sup> La qualificazione del sito scaturirà dall'istruttoria tecnica che si avvarrà delle tecniche dell'analisi di sicurezza e che dovrà essere svolta dall'Autorità preposta (ISIN) per la formulazione del parere vincolante sull'idoneità del sito come previsto al comma 11 dell'art. 27 del D.Lgs. 31/2010 e ss.mm.ii.

<sup>3</sup> Come indicato nell'art. 28 del D.Lgs. 31/2010 e ss.mm.ii. per l'istanza di rilascio dell'autorizzazione unica per la costruzione e l'esercizio del Parco Tecnologico.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



al fine di raggiungere la:

- rispondenza alle indicazioni normative italiane (D.Lgs. 31/2010 ss.mm.ii. e Guide Tecniche 29 e 30 ISPRA/ISIN) relative al processo di localizzazione e caratterizzazione del sito ai fini della sua qualificazione in aderenza alle indicazioni IAEA relative alla caratterizzazione del sito per un deposito superficiale definitivo di rifiuti radioattivi a bassa e media attività (*SSG-29 Near-surface disposal facility*) e per un deposito temporaneo di lunga durata per il combustibile irraggiato, i rifiuti radioattivi ad alta attività e i rifiuti radioattivi a media attività non conferibili allo smaltimento superficiale (*SSG-35 Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations*);
- identificazione chiara e completa di tutte le componenti e dei processi che intervengono e costituiscono il processo di localizzazione e caratterizzazione del sito definitivo;
- definizione delle fasi attraverso cui articolare il programma di localizzazione e caratterizzazione e monitoraggio del sito definitivo;
- uniformità e omogeneità di approccio analitico per tutti gli ambiti di analisi che intervengono nelle fasi del processo di localizzazione e caratterizzazione;
- rispondenza alle prescrizioni delle norme nazionali e, nello specifico, delle Norme Tecniche delle Costruzioni in vigore (NTC 2018 e ss.mm.ii) relative al processo di modellazione di sito ai fini della progettazione di strutture analoghe al DN; parametri per il calcolo delle azioni e determinazione delle resistenze di progetto;
- rispondenza alle indicazioni degli Eurocodici (per aspetti eventualmente non considerati dalla normativa nazionale).

La *qualificazione del sito* può quindi essere considerata il risultato finale di un *processo* complesso, all'interno del quale sono comprese le attività di acquisizione dati, di analisi, progettazione e verifica di sicurezza, come anche le funzioni di controllo, verifica, informazione e decisione, finalizzate al riconoscimento finale della totale idoneità del sito.

Si tratta evidentemente di un approccio progressivo di tipo multidisciplinare nel quale intervengono diversi soggetti e competenze che devono continuamente interagire e integrarsi; il processo si articola in una sequenza complessa di fasi di analisi-valutazione-decisione basate su dati ed elaborazioni acquisiti in continuo e con livelli di approfondimento crescente.

Le presenti linee guida delineano una struttura del processo di caratterizzazione articolata in *fasi di approfondimento successivo*, basate sulle indicazioni normative IAEA e ISPRA/ISIN.

L'approccio alla caratterizzazione di un'area per la realizzazione del Deposito Nazionale è basato sull'implementazione, lo sviluppo e il progressivo affinamento di un *modello di sito* (cfr. definizione in nota 1); un modello descrittivo integrato, continuamente aggiornato al procedere delle indagini, delle elaborazioni e della costituzione delle serie storiche dei dati che saranno prodotti dalle attività di

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



monitoraggio, accessibile a tutti i soggetti coinvolti nel processo progettuale, in grado di fornire una rappresentazione concettuale multidimensionale del sito. A supporto della modellazione integrata di sito sarà quindi indispensabile sviluppare un avanzato sistema di gestione, condivisione ed elaborazione che consenta di ottimizzare l'accessibilità e la disponibilità dei dati di caratterizzazione e dei risultati delle elaborazioni, favorendo in questo la comunicazione e la cooperazione tra i diversi soggetti coinvolti, al fine di soddisfare le esigenze di valutazione di sicurezza e progettazione strutturale.

Tale approccio metodologico garantisce flessibilità e consente il tempestivo recepimento di ogni eventuale ulteriore indicazione derivante dalle attività di controllo da parte dell'Autorità preposta (ISIN).

## 1.2 STRUTTURA DEL DOCUMENTO

Il documento è suddiviso in cinque parti principali:

1. La prima parte del documento analizza la struttura del processo di caratterizzazione per la qualificazione del sito, come definito dalle norme internazionali (IAEA) e italiane (D.Lgs. 31/2010 ss.mm.ii. e norme ISPRA), individuando le fasi di localizzazione già completate e quelle ancora da realizzare, a supporto delle quali dovrà essere sviluppato e articolato il programma delle indagini per la qualificazione del sito (Paragrafo 1.3).
2. Nella seconda parte è illustrata la metodologia: vengono analizzate le interazioni tra le diverse componenti del processo di caratterizzazione evidenziando il ruolo cardine della sicurezza; viene inoltre delineato un sistema di gestione ed elaborazione dei dati di progetto che consenta di rispondere alle esigenze di condivisione dei dati proprie del carattere iterativo del processo di qualificazione (Capitolo 2).
3. Nella terza parte si individua il contesto normativo di riferimento (Capitolo 3): elenco delle norme nazionali e internazionali di riferimento per tutte le fasi di indagine; elenco degli *standard* di riferimento per indagini e prove, *in situ* ed in laboratorio.
4. Nella quarta parte è trattato il Programma di Monitoraggio (Capitolo 4).
5. Infine, nella quinta parte, in accordo con le fasi e i tempi imposti dalla normativa di riferimento, vengono proposte delle *linee guida* cui attenersi nelle successive fasi del processo di localizzazione e caratterizzazione per la qualificazione, individuando i principali ambiti di approfondimento, le interazioni tra le diverse componenti coinvolte e le fasi di verifica, comparazione e validazione dei modelli di sito progressivamente sviluppati (Capitolo 5).



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



### 1.3 PROCESSO DI LOCALIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE PER LA QUALIFICAZIONE DEL SITO – APPROCCIO IAEA E CRITERI ISPRA

In accordo con le indicazioni IAEA contenute nel documento SSR-5 (*Specific Safety Requirement*) *Disposal of Radioactive Waste (Vienna, 2011)* - “*Requirement 15: site characterization for a disposal facility*”, il sito individuato per la realizzazione del deposito dovrà essere caratterizzato con un livello di dettaglio tale da condurre ad una generale comprensione delle sue caratteristiche e della sua evoluzione futura; gli studi di caratterizzazione dovranno riferirsi alle condizioni attuali del sito, alla sua probabile evoluzione naturale, ai possibili eventi naturali o attività umane nelle vicinanze che potrebbero interferire con il deposito nel tempo. Andranno inoltre approfonditi in dettaglio gli impatti sulla sicurezza delle caratteristiche, dei processi e degli eventi associati al sito e al deposito stesso.

All'interno del sito che ospiterà il Deposito Nazionale oltre alle strutture adibite allo smaltimento di rifiuti a bassa (LLW) e molto bassa attività (VLLW) verrà inserito il deposito temporaneo per lo stoccaggio dei rifiuti ad attività alta (HLW) e media (ILW)<sup>4</sup> in attesa della destinazione di smaltimento.

La sicurezza di queste strutture come indicato nel punto 1.3 della SSG-15 (*Storage of Spent Nuclear Fuel*) è garantita da: “*appropriate containment of the radionuclides involved, criticality safety, heat removal, radiation shielding and retrievability. These functions are ensured by the proper siting, design, construction and commissioning of the storage facility, its proper management and safe operation*”.

La relazione illustrativa associata alla GT29, a proposito del deposito temporaneo di lunga durata dei rifiuti ad alta attività nel sito del deposito, evidenzia che: “*un sito ritenuto idoneo per la localizzazione di un impianto di smaltimento superficiale di rifiuti radioattivi a bassa e media attività sulla base dell'applicazione di criteri di selezione delle caratteristiche chimico fisiche, naturali ed antropiche del territorio quali quelli individuati nella Guida Tecnica può ritenersi idoneo, fatte salve le suddette verifiche, anche per la localizzazione di un deposito di stoccaggio di lungo termine*”. Di tali “*suddette verifiche*”, riguardanti la “*rispondenza a fronte degli eventi naturali ed antropici ipotizzabili in relazione alle caratteristiche di sito nonché le verifiche in merito all'impatto radiologico in condizioni normali ed incidentali sulla popolazione e sull'ambiente*” e quindi “*della piena compatibilità di tale tipologia di deposito con il sito prescelto*” potrà essere “*fornita evidenza, nell'ambito delle relative procedure autorizzative*”.

La GT30 dell'ISIN (2020) riporta inoltre al punto 7.1: “*Il sito del Deposito nazionale, identificato in conformità con i criteri della Guida Tecnica n. 29, è idoneo alla localizzazione del deposito di stoccaggio temporaneo di lunga durata di rifiuti*”.

<sup>4</sup> Nella vigente classificazione dei rifiuti radioattivi (Decreto 7 agosto 2015 “Classificazione dei rifiuti radioattivi, ai sensi dell'articolo 5 del decreto legislativo 4 marzo 2014, n. 45”) è individuata la classe dei “Rifiuti radioattivi di media attività” che ammette allo smaltimento in impianti di superficie solo rifiuti con “Radionuclidi alfa emettitori  $\leq 400$  Bq/g e beta-gamma emettitori in concentrazioni tali da rispettare gli obiettivi di radioprotezione stabiliti per l'impianto di smaltimento superficiale”. In questo documento quando si citano o si prendono a riferimento fonti precedenti al decreto 7 agosto 2015 che fanno riferimento alla “media attività”, è inteso che si considerano, ai fini dello smaltimento, solo ai rifiuti che rientrano nella nuova classificazione.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



radioattivi ad alta attività, di rifiuti radioattivi a media attività non conferibili allo smaltimento superficiale e di combustibile irraggiato a secco”.

Il grado di dettaglio che deve essere raggiunto dalle indagini per la qualificazione del sito e del suo intorno significativo dovrà essere esaustivo al fine della garanzia di sicurezza per entrambe le strutture del Deposito Nazionale, sulla base del *Safety Approach* definito dalla IAEA (*Safety Standards Series No. SF-1* - Vienna, 2006 e *General Safety Requirements No. GSR Part 4 (Rev. 1)*) e descritto nel Capitolo 2.1 di questo documento. Il processo di caratterizzazione deve essere strutturato per *gradi di approfondimento crescente*, in relazione alla pericolosità del rifiuto, alla complessità del sito e al progetto del deposito; per ogni livello di approfondimento, le analisi di sito devono fornire elementi di *input* alle analisi di sicurezza, i cui risultati indirizzano a loro volta la progettazione delle successive fasi di caratterizzazione.

Nella SSG – 29 (*Specific Safety Guide*) *Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste* (IAEA, 2014) vengono individuati quattro livelli di approfondimento nel procedimento di *siting* per un deposito superficiale per rifiuti radioattivi, schematizzati nella figura che segue (Fig. 2.1).

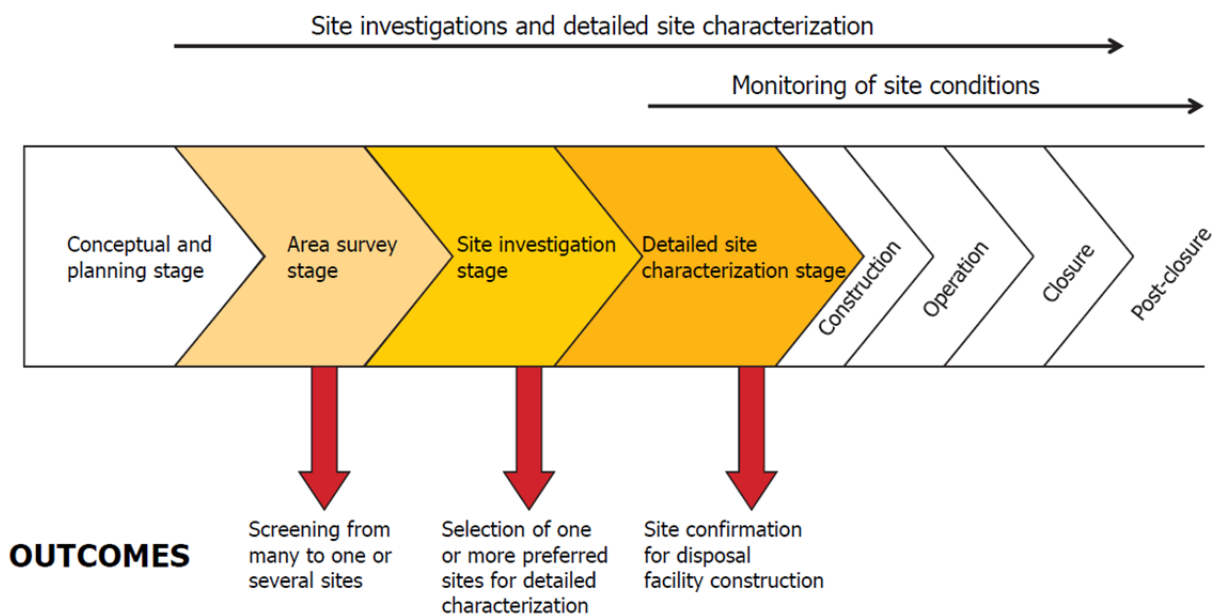


Figura 2.1 – Fasi del processo di *siting* (SSG-29).

La procedura indicata nel D.Lgs. 31/2010 e ss.mm.ii. per la localizzazione del deposito è inquadrabile nella schematizzazione del *siting process* che la IAEA indica per effettuare la selezione del sito di smaltimento in un ambito territoriale vasto come quello di una nazione (SSG-29, 2014). In figura 2.2 si illustra schematicamente la corrispondenza delle fasi di localizzazione individuate nel decreto legislativo, dalla IAEA (SSG-29) e dall'ISPRA (GT29).



**DEPOSITO NAZIONALE E PARCO TECNOLOGICO - FASI DI SITING A CONFRONTO**

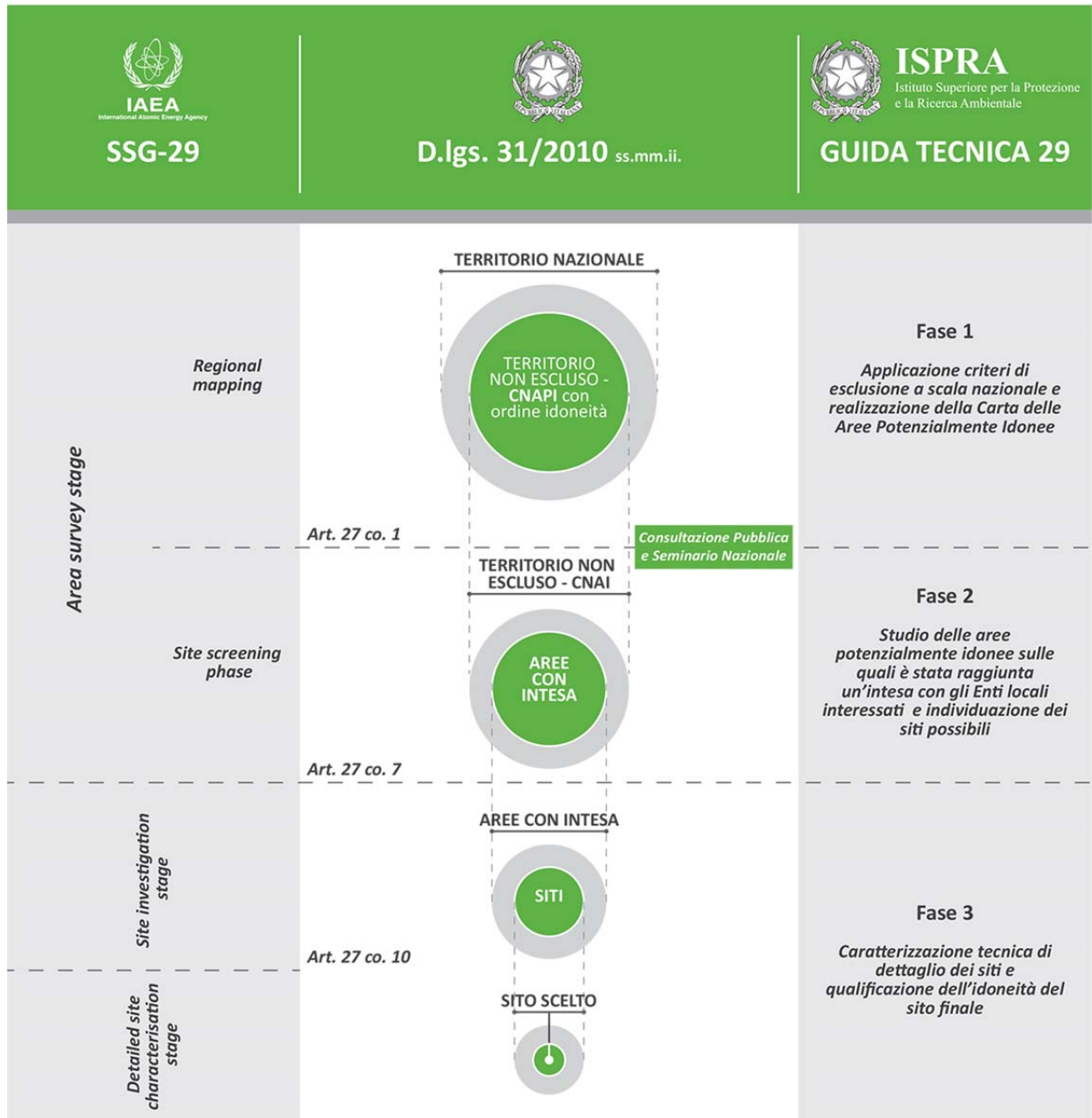


Figura 2.2 – Corrispondenza delle fasi di localizzazione individuate nel D.Lgs. 31/2010, dalla IAEA (SSG-29) e dall'ISPRA (GT29).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Per la IAEA, questo processo prevede quattro fasi:

1. concettualizzazione e pianificazione del processo di *siting* sulla base delle esigenze nazionali (*conceptual and planning stage*);
2. sviluppo delle indagini a scala nazionale e regionale per l'individuazione delle aree potenzialmente idonee (*area survey stage-regional mapping or investigation stage phase*)
3. selezione di uno o più siti (*area survey stage-site screening phase*) e caratterizzazione dei siti d'interesse (*site investigation stage*);
4. caratterizzazione di dettaglio (*detailed site characterization stage*), selezione e conferma del sito definitivo e sua qualificazione (*site confirmation stage*).

La Guida Tecnica 29 (GT29) dell'ISPRA recepisce le indicazioni IAEA individuando un processo di selezione/caratterizzazione costituito da 3 fasi di approfondimento progressivo:

1. "La prima fase consiste in una selezione di aree su scala nazionale effettuata tenendo conto di criteri connessi alle caratteristiche fisiche, chimiche, naturalistiche e antropiche del territorio che rendono compatibile un'area con la realizzazione di un deposito di smaltimento di rifiuti radioattivi a bassa e media attività."

La corrispondenza è con il *Conceptual and Planning Stage* e *Area Survey Stage-regional mapping or investigation stage* (IAEA)

2. "La seconda fase è finalizzata ad individuare, nelle aree potenzialmente idonee i siti da sottoporre ad indagini di dettaglio. La selezione viene effettuata sulla base di valutazioni con dati a scala regionale, di eventuali verifiche in campo e tenendo conto di fattori socioeconomici." La corrispondenza è con l'*Area Survey Stage-site screening phase* (IAEA)

3. "La terza fase è finalizzata alla caratterizzazione tecnica di dettaglio di uno o più siti, in particolare per quanto riguarda il relativo comportamento nel lungo termine, per pervenire alla scelta del sito ove realizzare il deposito." La corrispondenza è con il *Site Investigation Stage* e *Detailed Site Characterization Stage* (IAEA)

La realizzazione della proposta di Carta Nazionale delle Aree Potenzialmente Idonee (CNAPI) esaurisce la prima fase del processo di *siting* come indicata nella GT29 di ISPRA.

La CNAPI è stata realizzata tenendo conto in modo vincolante dei criteri definiti nella Guida Tecnica 29, utilizzando per quanto possibile dati pubblici validati e omogenei sul territorio nazionale, come indicato per le attività di fase 1 della GT29.

Gli studi e gli approfondimenti di maggior dettaglio eseguiti per la definizione delle aree CNAPI, si configurano come propedeutici all'avvio della seconda fase ISPRA

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



in quanto sono stati svolti come necessarie verifiche a scala locale della eventuale presenza di condizioni di non idoneità non rilevabili sulla base dei dati e della cartografia esaminati a scala nazionale e regionale. Il livello informativo contenuto nella documentazione della CNAPI costituisce pertanto la base conoscitiva sulla quale saranno configurati i piani e programmi di indagine per lo sviluppo delle fasi successive del processo di localizzazione.

La GT29 è il documento di riferimento del processo di localizzazione e caratterizzazione del sito ai fini della sua qualificazione; le successive due fasi del processo di localizzazione devono quindi inizialmente basarsi sulla verifica completa dei criteri in essa contenuti avvalendosi, di indagini tecniche di dettaglio finalizzate alla modellazione del sito – come sopra definita – a supporto delle verifiche di sicurezza, progettazione definitiva, Studio di Impatto Ambientale e avvio del programma di monitoraggio.

I criteri di riferimento stabiliti nella GT29 per la localizzazione dell'impianto di smaltimento superficiale dei rifiuti radioattivi sono divisi in *criteri di esclusione* e *criteri di approfondimento*.

I *criteri di esclusione* sono stati definiti al fine di escludere aree del territorio nazionale le cui caratteristiche non consentono di garantire la piena rispondenza ai requisiti di sicurezza; nella fase di elaborazione della CNAPI sono stati verificati tutti i criteri con l'esclusione delle aree non idonee per uno o più criteri.

La verifica approfondita dei criteri di esclusione rappresenta il primo elemento di cui tenere conto per la programmazione della seconda e terza fase del processo di localizzazione.

I *criteri di approfondimento* sono stati definiti per consentire la valutazione dell'idoneità delle aree risultanti dal processo di applicazione dei criteri di esclusione.

Nel corso delle prossime fasi del processo di localizzazione l'applicazione dei criteri di approfondimento, anche attraverso indagini specifiche, consentirà di sviluppare un primo modello di sito, integrando progressivamente le indagini di dettaglio. Nel seguito di questo documento, per la definizione dei livelli di dettaglio richiesto nelle varie fasi di localizzazione e degli ambiti tecnici di caratterizzazione, si farà pertanto sempre riferimento ai criteri ISPRA.

La procedura delineata dal D.Lgs. 31/2010 e ss.mm.ii. prevede che le ultime due fasi del processo di localizzazione e caratterizzazione del sito definitivo ai fini della sua qualificazione, debbano svolgersi nelle aree della Carta Nazionale delle Aree Idonee (CNAI<sup>5</sup>) che siano state "oggetto di intesa".

In ciascuna area "oggetto di intesa", secondo un ordine di priorità definito e fino all'individuazione del sito per la localizzazione del Parco Tecnologico, la Sogin effettuerà, entro 15 mesi dal protocollo di accordo con Regioni ed enti locali (o dal perfezionamento dell'intesa che conclude l'articolato iter procedurale che si sviluppa in caso di mancato accordo con Regioni ed enti locali), le indagini tecniche nel

<sup>5</sup> Da realizzare come indicato nell'art. 27 comma 5 del D.Lgs 31/2010.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



rispetto delle modalità definite dall’Autorità di Controllo (ISIN); in esito alle indagini tecniche, la Sogin, formulerà quindi al Ministero per lo Sviluppo Economico una proposta di localizzazione del sito definitivo per il Deposito Nazionale.

I 15 mesi sono pertanto il periodo di riferimento per l’intera procedura di localizzazione e qualificazione del sito definitivo; a tale intervallo temporale dovrà quindi riferirsi il programma di indagini per la qualificazione del sito di cui al presente documento.

Le diverse fasi dell’intero processo di individuazione del sito fino all’Autorizzazione Unica per la costruzione ed esercizio del deposito, così come definite dal D.Lgs. 31/2010, sono schematizzate in figura 2.3 nella quale viene data indicazione sia delle attività di competenza Sogin, sia della durata temporale dei singoli *step*; le attività cui si riferisce questo documento, riconducibili alle fasi 2 e 3 definite da ISPRA, sono evidenziate da un cerchio rosso.

L’iter procedurale dettato dal D.Lgs. 31/2010 e le indicazioni della GT29 ISPRA consentono anche di definire il livello di approfondimento che deve essere raggiunto nell’ambito delle diverse fasi del processo; l’insieme delle indagini e degli studi da svolgere devono consentire, oltre all’individuazione del sito definitivo in cui realizzare il deposito, l’avvio e l’esecuzione dello Studio di Impatto Ambientale (SIA) ai fini della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), l’elaborazione del Progetto Definitivo e del Rapporto Preliminare di Sicurezza (*Preliminary Safety Analysis Report PSAR*) – D.Lgs. 31/2010 art. 28 (Istanza per il rilascio dell’autorizzazione unica e attività istruttoria).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## PROCESSO DI LOCALIZZAZIONE E REALIZZAZIONE\*



\*Percorso derivato dai tempi di legge nell’ipotesi di avere almeno una manifestazione di interesse

Figura 2.3 - Fasi del processo di individuazione, qualificazione e autorizzazione del sito del Deposito Nazionale, secondo il D.Lgs. 31/2010; in verde i riquadri con le attività di competenza Sogin, evidenziata in rosso la fase di caratterizzazione del sito.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 2 **METODOLOGIA**

Il processo di caratterizzazione del sito si sviluppa a partire da una dettagliata revisione di tutte le informazioni disponibili (studi scientifici, dati territoriali, relazioni tecniche, documenti istituzionali, ecc.) e procede con la successiva esecuzione di studi specifici e indagini *in situ* e in laboratorio a un livello di dettaglio adeguato per definire le caratteristiche del sito e del suo intorno significativo riguardo alla capacità di ritenzione a lungo termine della radioattività smaltita e l'interazione con l'ambiente nelle diverse fasi di vita del Deposito.

La metodologia generale cui fa riferimento un processo di localizzazione e caratterizzazione del sito ai fini della sua qualificazione può essere schematizzata come segue (per la definizione di *modello di sito* si faccia riferimento a quanto specificato nel paragrafo 1.2 – nota 1):

- Raccolta, valutazione ed elaborazione dei dati esistenti
- Elaborazione di un modello di sito preliminare esteso per un intorno significativo
- Definizione degli ulteriori approfondimenti necessari
- Definizione di indagini, studi e ricerche appropriate ad ogni livello di approfondimento
- Elaborazione del *modello di sito*
- Aggiornamento e affinamento continuo del *modello di sito* allo scopo di adeguare il processo di analisi in relazione ai risultati via via ottenuti
- Elaborazione del modello finale sito/struttura (adeguato al livello di dettaglio richiesto da ogni livello di approfondimento)

Tale schema metodologico è applicabile sia nella seconda che nella terza fase di localizzazione dalla procedura ISPRa descritte nei paragrafi precedenti.

### 2.1 **FINALITA' DEL PROGRAMMA DI INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE (IL RUOLO CENTRALE DELLA SICUREZZA)**

La IAEA nel documento *Fundamental Safety Principles - IAEA Safety Standards Series No. SF-1* (Vienna, 2006) - stabilisce i principi che devono essere applicati per tutti gli impianti nucleari, compresi i depositi, e le attività legate alla gestione dei rifiuti radioattivi: "l'obiettivo di sicurezza fondamentale è la protezione della popolazione e dell'ambiente dagli effetti dannosi delle radiazioni ionizzanti".

Come indicato nel par. 2.24 della guida IAEA NS-R-3 il sito e il progetto delle "nuclear installations" devono essere esaminati in congiunzione, al fine di garantire che il rischio radiologico per la popolazione e l'ambiente, associato al rilascio radioattivo, sia accettabilmente basso.

Il *Requirement 4 del SSR-5 (Specific Safety Requirement) Disposal of Radioactive Waste* (Vienna, 2011) "Importance of Safety in the development process" evidenzia il ruolo centrale e fondamentale della *sicurezza* nel processo di progettazione, realizzazione, gestione e chiusura del deposito di rifiuti radioattivi.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Di conseguenza, le indagini e gli studi di approfondimento che costituiscono il processo di localizzazione e caratterizzazione del sito ai fini della sua qualificazione di cui al presente documento, dovranno essere orientate alla valutazione congiunta delle caratteristiche del sito che insieme a quelle del progetto e dei processi nel tempo possono avere effetto sulla sicurezza del Deposito Nazionale (SSR-5 – Rev.1)

## 2.2 LE COMPONENTI DEL PROCESSO DI CARATTERIZZAZIONE

L'insieme delle operazioni di caratterizzazione, progettazione e valutazione della sicurezza, sono tra loro strettamente connesse e in relazione costante e devono procedere in modo iterativo per fasi successive di approfondimento crescente.

A titolo di esempio si può citare il documento IAEA-Tecdoc-1256 *Technical considerations in the design of near surface disposal facilities for radioactive waste* (Vienna, 2001) nel quale si sottolineano gli aspetti di multidisciplinarietà e iteratività del processo di progettazione di un deposito superficiale di rifiuti radioattivi:

*“il processo di progettazione di un deposito superficiale è di tipo iterativo e articolato in più fasi [...] Tale processo consente ai progettisti di modificare il progetto del deposito allo scopo di rispettare i requisiti di sicurezza desiderati tenendo conto delle norme costruttive, delle necessità operative e dei vincoli di costo. E' importante riconoscere la natura iterativa del processo di sviluppo e ottimizzazione del progetto del deposito. Il processo di progettazione si sviluppa in contemporanea con le attività di caratterizzazione del sito, la caratterizzazione, il trattamento e il packaging del rifiuto e le attività di valutazione di sicurezza [...]”*

Lo schema riportato in figura 2.4, basato sul documento IAEA sopra citato, evidenzia l'insieme delle relazioni tra i diversi processi e componenti che costituiscono il percorso di individuazione del sito di un deposito di superficie (nello schema sono utilizzati termini e livelli di approfondimento cui fa riferimento il D.Lgs. 31/2010 e ss.mm.ii. e la Guida Tecnica 29).

In figura 2.5 è riportato un esempio di applicazione del processo di progetto – tratto dal *Tecdoc IAEA* sopra citato – al caso di un deposito di rifiuti radioattivi posto sopra al livello della falda.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---

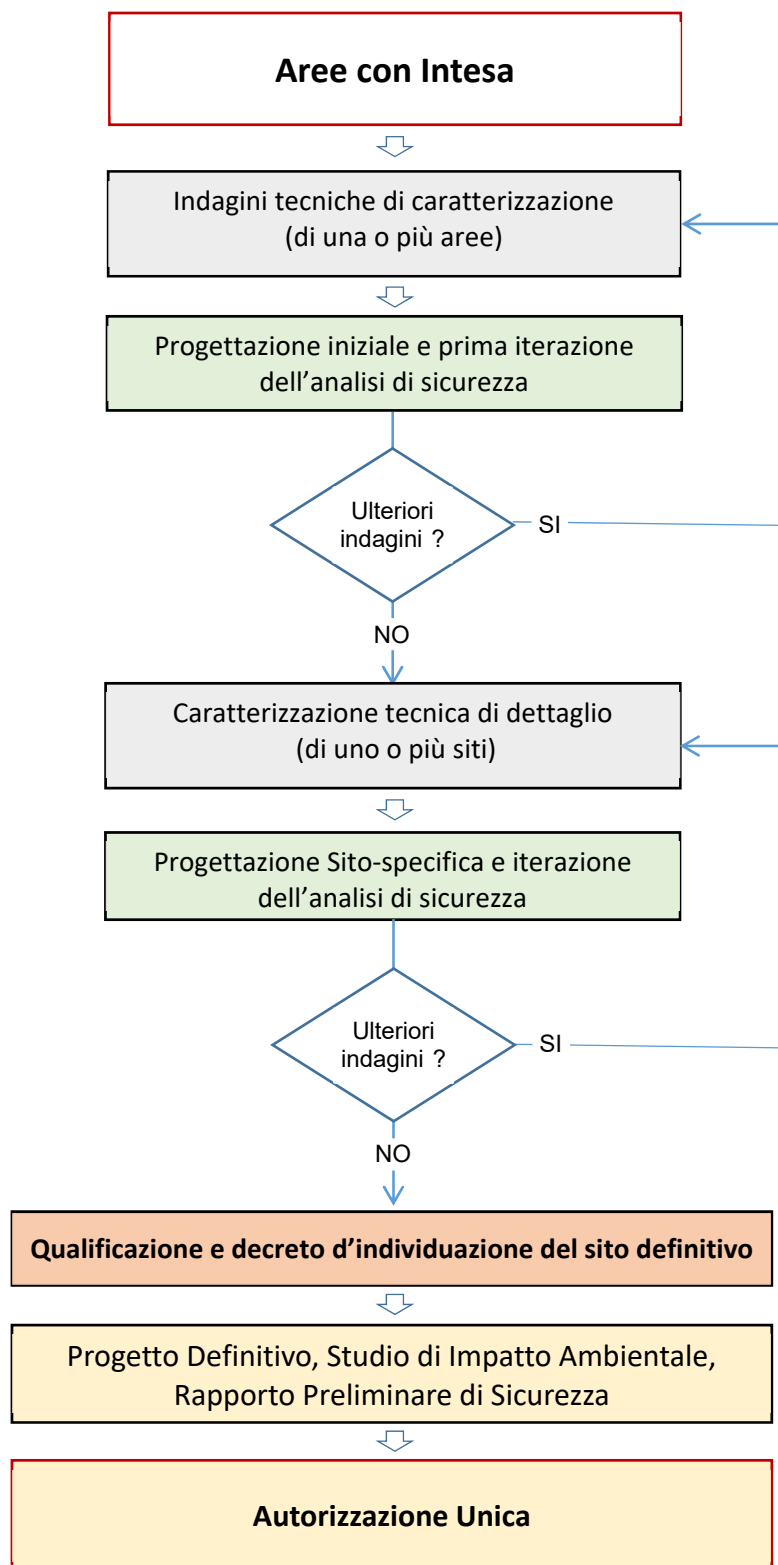


Figura 2.4 - Percorso di individuazione del sito del Deposito Nazionale.

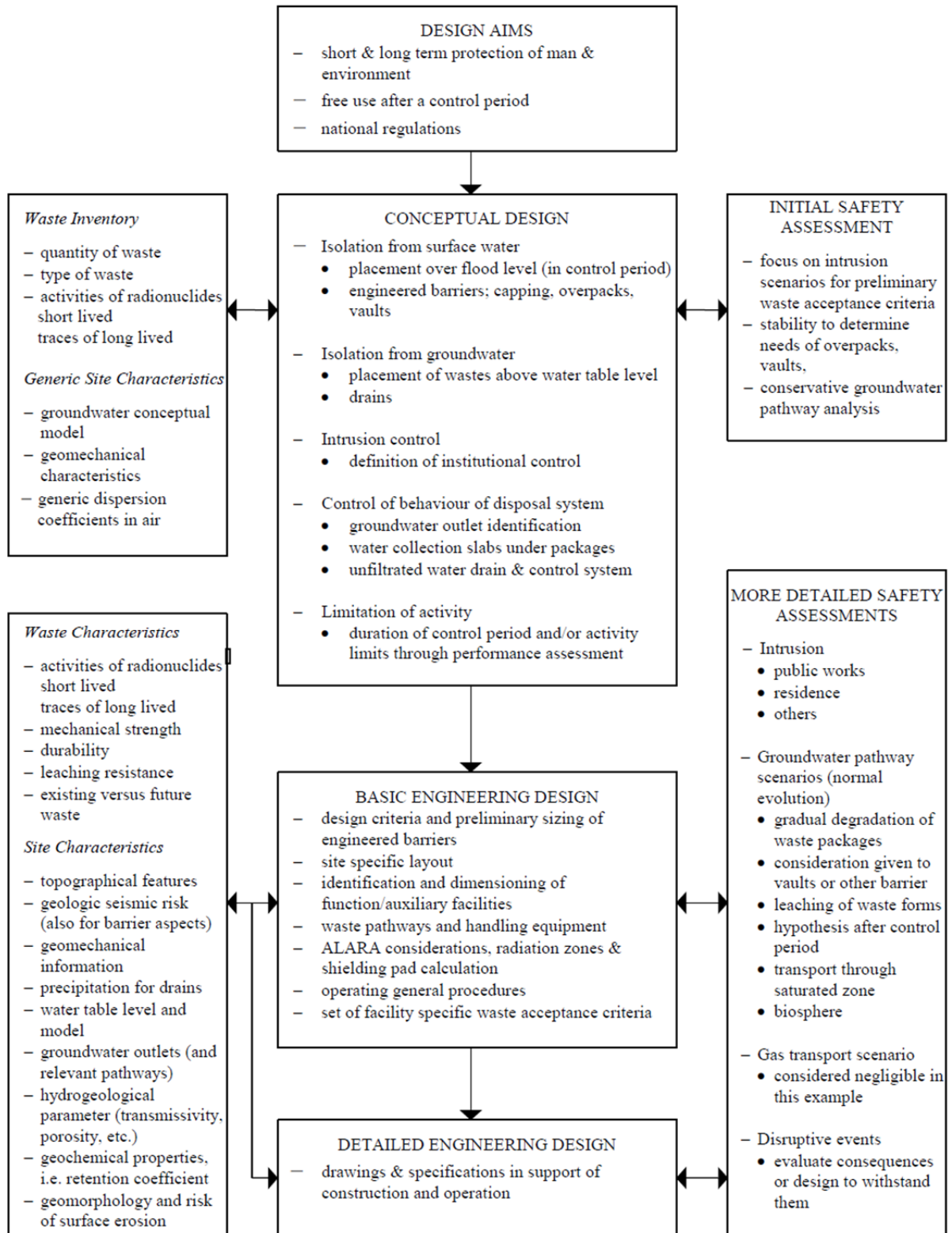


Figura 2.5 - Esempio di applicazione del processo di progetto a un deposito di rifiuti radioattivi posto sopra al livello della falda (IAEA-Tecdoc-1256).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Un processo di caratterizzazione di tipo iterativo può quindi poter essere modificato in relazione ai risultati ottenuti e/o a mutati ordini di priorità progettuale o di verifica della sicurezza e, di conseguenza, deve essere continuamente accessibile, interrogabile e direzionabile da tutti gli attori del processo.

Tale assunzione concettuale viene completamente recepita nelle presenti linee guida e adottata come approccio base alla caratterizzazione.

Come meglio evidenziato dallo schema in figura 2.6, tratto da *Geological Disposal – Site characterisation for a geological disposal facility. Status Report: March 2010* (NDA 2011) la modellazione basata su iterazioni successive conduce ad una progressiva riduzione delle incertezze e all'affinamento per gradi del modello di sito grazie al progressivo colmamento delle carenze conoscitive ad ogni iterazione dell'analisi dei dati delle indagini in sito.

Si evidenzia come le diverse attività in cui si articola l'intero processo di caratterizzazione debbano essere organizzate *in parallelo* piuttosto che *in serie*.

Nella figura 2.7 viene confrontato un approccio basato su una sequenza non contemporanea di azioni che non possono interagire (approccio *in serie*) con una successione di attività che avvengono contemporaneamente e possono essere in continua interazione (approccio *in parallelo*).

In tal modo risulta immediatamente evidente che l'organizzazione del processo *in serie* conduce inevitabilmente a ritardi, incremento di costi, perdita di conoscenza e dati, ridondanza delle indagini; di contro, l'organizzazione *in parallelo* delle attività – adottata da alcuni gestori europei di rifiuti radioattivi – risulta strategica per la potenziale riuscita del processo di localizzazione e realizzazione di un progetto complesso e articolato come quello di un deposito per rifiuti radioattivi.

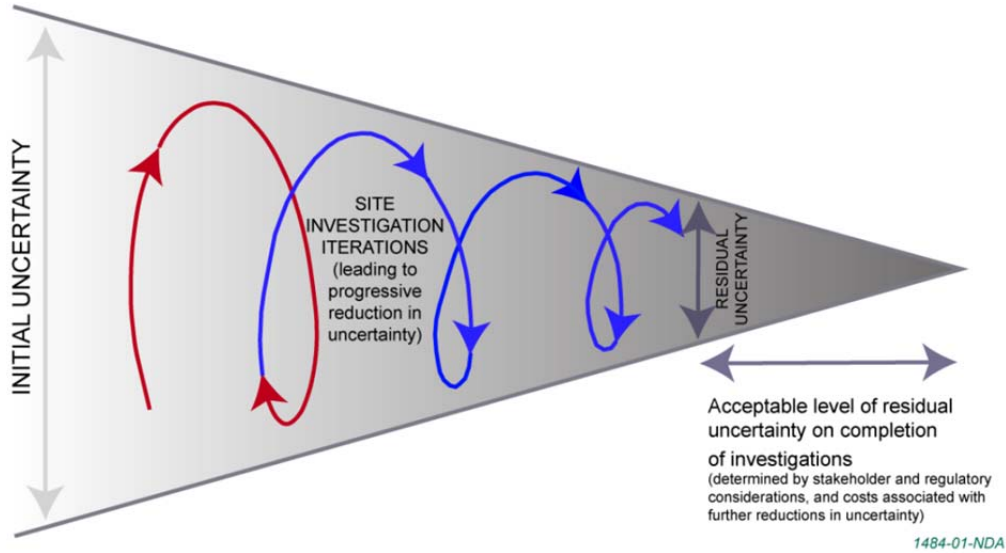
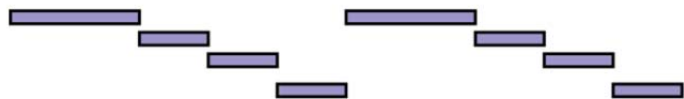


Figura 2.6 - Processo di riduzione progressiva delle incertezze nella costruzione del modello di sito (da NDA 2011).

### Serial Activities

Investigations  
 Interpretation and site modelling  
 Engineering design  
 Safety Assessment



### Parallel Activities

Investigations  
 Interpretation and site modelling  
 Engineering design  
 Safety Assessment



1486-01-NDA

Figura 2.7 - Comparazione tra attività di caratterizzazione sviluppate in serie o in parallelo (NDA, 2011)

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



### 2.3 GESTIONE E CONDIVISIONE DEI DATI DI CARATTERIZZAZIONE

In un processo di caratterizzazione multidisciplinare per gradi di approfondimento crescente come quello finora descritto e sulla base dell'insieme di relazioni tra processi e componenti che costituiscono necessariamente l'*iter* progettuale, assume una grande importanza l'adozione di un *sistema* di acquisizione, gestione, elaborazione e restituzione dei dati sperimentali e degli studi settoriali che consenta il continuo aggiornamento e affinamento del *modello di sito*; tale *sistema* deve consentire, in ogni momento, la revisione del *processo di caratterizzazione* così da poterne valutare la completezza e indirizzarne la prosecuzione. Allo stesso tempo può garantire l'accesso al modello di sito da parte delle componenti di progettazione e *safety assessment*, così da interagire *in continuo* con tale processo.

La SSG – 29 (*Specific Safety Guide*) *Near Surface Disposal Facility for Radioactive Waste* sottolinea la necessità di definire nelle fasi iniziali del processo di sviluppo del progetto gli obiettivi di ogni stadio della caratterizzazione, per quanto attiene al tipo di informazioni richieste e le modalità di acquisizione, gestione ed elaborazione dei dati; *“allo stesso tempo andrebbe riconosciuto che gli scopi e i metodi di acquisizione ed interpretazione dei dati potrebbero dover essere modificati in relazione allo sviluppo delle conoscenze o a mutati ordini di priorità che si palesino nel corso della modellazione legata alla valutazione di sicurezza”*.

E' quindi opportuno garantire un continuo accesso al *modello di sito* da parte di tutte le componenti del processo di realizzazione del deposito; l'interazione tra i diversi settori può consentire un continuo affinamento del processo di caratterizzazione determinandone l'evoluzione e riducendo drasticamente il rischio di mancanza di dati, errori, o inutili indagini. Un continuo flusso di dati e informazioni che permettano il costante miglioramento del modello di sito, può sostenere decisioni e scelte in grado di reindirizzare tempestivamente ed efficacemente il successivo livello di approfondimento progettuale.

Un supporto metodologico, per ora in senso prevalentemente teorico, lo hanno fornito i recenti approfondimenti scientifici intorno al BIM (*Building Information Modelling*) inteso come un approccio basato sulla modellazione multi-dimensionale che deve essere in grado di *sostenere la comunicazione, la cooperazione, la simulazione, lo sviluppo e il miglioramento* di un'opera lungo tutto il suo ciclo di vita (dalla fase preprogettuale a tutta la fase di esercizio e rilascio). Un BIM può essere definito in modo semplice come la rappresentazione digitale multi-dimensionale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un'opera (o di un insieme opera-sito) a partire dalla generazione del modello fino alla sua gestione e integrazione continua per tutto il ciclo di vita dell'opera; tale processo facilita la condivisione di dati e modelli tra gruppi di progettazione che normalmente lavorano separati, in modo che questi possano beneficiare, nella costruzione del proprio modello tematico di riferimento progettuale, della contestualizzazione multidisciplinare continuamente aggiornata.

L'adozione di un "approccio BIM" associato alla caratterizzazione del sito del Deposito Nazionale rappresenta quindi la soluzione ottimale per integrare la



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



capacità di rappresentare/gestire/catalogare i dati di caratterizzazione e le funzioni di controllo del processo.

La normativa di settore in Italia (Decreto legislativo 18 aprile 2016 n.50 e ss.mm.ii., recante “Codice dei contratti pubblici” e il cosiddetto “Decreto BIM” DM 560/2017), ha recentemente introdotto l’uso di “metodi e strumenti elettronici specifici, quali quelli di modellazione per l’edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle opere e relative verifiche”, rendendone progressivamente obbligatoria l’adozione per alcune categorie di lavori.

Quanto finora esposto, dovrà costituire il primo indispensabile *step* della fase 2 del processo di localizzazione. In accordo con l’approccio alla gestione dei dati di caratterizzazione, progettazione e analisi di sicurezza sopra descritto (basato sull’utilizzo banche dati condivise multi-accesso, implementabili in tempo reale da tutte le componenti del processo di caratterizzazione), questi principi generali dovranno essere trasformati in modalità operative e regole organizzative, sistemi di gestione ed elaborazione dei dati, formati e tipologie di dati di caratterizzazione, reti di strumenti software e infrastrutture di archiviazione, sistemi di comunicazione, condivisione e collaborazione.

Il processo di caratterizzazione del sito si estende per tutte le fasi di progettazione, costruzione e avvio della fase operativa dell’impianto e deve condurre alla pianificazione ed installazione del sistema di monitoraggio che, opportunamente adeguato alle esigenze delle diverse fasi di vita del Deposito Nazionale, dovrà garantire la continuità dei dati ben oltre il periodo di operatività e controllo istituzionale del deposito.

Il sistema di gestione e condivisione dei dati deve quindi essere esteso e strutturato di conseguenza.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



### **3 CONTESTO NORMATIVO DI RIFERIMENTO**

La normativa di riferimento per le diverse fasi di caratterizzazione per la qualificazione del sito in cui verrà realizzato il DNPT comprende sia testi nazionali che internazionali; nel breve elenco seguente sono indicati i principali riferimenti normativi:

- Norme Tecniche Costruzioni (NTC2018 - Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 e ss.mm.ii.)
- Normativa sismica nazionale
- Normativa ambientale nazionale (Decreto Legislativo n.152/2006 *Norme in Materia Ambientale* e ss.mm.ii.)
- Codice dei contratti pubblici (Decreto legislativo 18 aprile 2016 n.50 e ss.mm.ii) e norme correlate
- Linee guida IAEA
- Linee guida ISPRA/ISIN
- Eurocodici (in particolare Eurocodici 7 e 8)
  
- *Standard di riferimento per le analisi in situ e in laboratorio:*
  - Manuali ISPRA e ISIN
  - Raccomandazioni ISMR (International Society for Rock Mechanics)
  - Raccomandazioni A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
  - Norme ASTM (American Society to Testing and Materials)
  - AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)
  - Norme BS (British Standard)
  - Norme CNR-UNI (Consiglio Nazionale delle Ricerche – Ente Italiano di Unificazione)
  - ISO Standards

Tutti gli studi, le indagini *in situ* (dirette e indirette) e le analisi di laboratorio, dovranno essere eseguite nel rispetto delle norme, degli *standard* di riferimento, delle raccomandazioni e specifiche tecniche che SOGIN indicherà nel “Piano e programma delle indagini tecniche” da sottoporre all’Autorità di Controllo (ISIN) come stabilito al comma 10 dell’art. 27 del D.Lgs. 31/2010 e ss.m.ii..

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



#### **4 MONITORAGGIO**

La Guida SSG-31 della IAEA - *Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities*, delinea le diverse fasi in cui deve articolarsi il programma di *monitoraggio* nell'intero periodo di esistenza di un deposito di rifiuti radioattivi (fasi pre-operative, periodo operativo e post-chiusura); lo schema alla pagina seguente (Fig. 4.1) identifica le diverse fasi correlate al periodo di vita del deposito.

Nel caso di un *deposito superficiale* le attività di monitoraggio sono finalizzate alla verifica del mantenimento della funzionalità e delle prestazioni nei confronti della sicurezza per centinaia di anni.

Per quanto riguarda il DNPT in via di sviluppo in Italia, nella sua fase di pre-operatività dovrà essere realizzato il “*baseline monitoring*”; lo scopo del “*baseline monitoring*” è la definizione delle condizioni ambientali esistenti prima dell'inizio dei lavori di costruzione del deposito (“bianco” o “punto zero”), in particolare per quanto riguarda i parametri che dovranno essere monitorati attraverso osservazioni periodiche o continue durante tutte le successive fasi di vita del Deposito.

In questa fase, nel corso del processo di localizzazione e caratterizzazione per la qualificazione del sito, è necessaria l'acquisizione di dati per l'identificazione di *aspetti, eventi e processi* su cui basare la prima iterazione della *Analisi di Sicurezza* (si veda Fig. 2.4).

In accordo con l'approccio metodologico descritto nei paragrafi precedenti, anche la progettazione del piano di monitoraggio e controllo, dovrebbe essere un processo di tipo iterativo, in grado di consentire periodiche revisioni e modifiche in relazione alla disponibilità di nuove fonti o tipologie di dati, allo sviluppo di nuove tecnologie e alla necessità di far riferimento a eventuali nuove esigenze normative.

Baseline monitoring — for collection of data to support the site evaluation process and for identification of important features, events and processes for the first iteration of the safety assessment.

Monitoring of the as-built facility — for evaluation of compliance with regulatory requirements, to support operational activities, and to support the development of the safety case for subsequent licensing steps. Additional measurements may be introduced at this step.

Monitoring of the operating facility — for evaluation of compliance with regulatory requirements and to support development of the safety case for subsequent licensing steps.

Monitoring for closure — for evaluation of compliance with regulatory requirements, to support closure activities, and subsequent post-closure monitoring. Additional measurements may be introduced at this step, while others will be discontinued.

Monitoring of the post-closure performance of the disposal facility (if applicable) — for evaluation of compliance with regulatory requirements and to support subsequent decisions (e.g. scaling down of monitoring activities, release of the site from regulatory control).

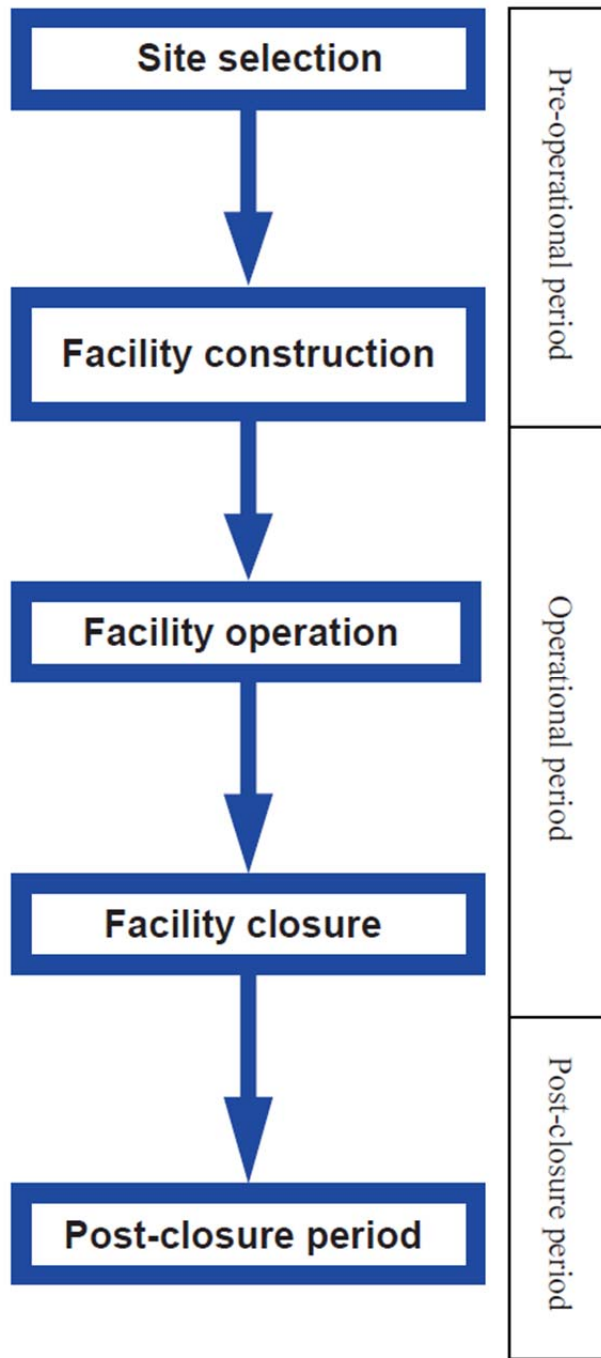


Figura 4.1 – Attività di monitoraggio previste lungo il periodo di esistenza di un deposito di rifiuti radioattivi (IAEA SSG-31).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## **5 PROCESSO DI LOCALIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE PER LA QUALIFICAZIONE DEL SITO – LINEE GUIDA PER LA DEFINIZIONE DEL PROGRAMMA DI INDAGINI**

In accordo con la Guida Tecnica 29 di ISPRA, il processo di localizzazione e caratterizzazione del sito ai fini della sua qualificazione, dopo l'individuazione delle aree potenzialmente idonee, è articolato in due fasi successive (come riportato sopra) cui corrispondono altrettanti livelli minimi di caratterizzazione e modellazione. In seguito all'individuazione del sito, il processo di caratterizzazione procederà alla modellazione locale ancora per approfondimenti successivi, in accordo con le esigenze di progetto e di valutazione della sicurezza.

Il modello del sito definitivo che sarà prodotto alla fine della fase di localizzazione e caratterizzazione dovrà consentire, come definito nella normativa, la *qualificazione* del sito, l'elaborazione del Progetto Definitivo e del rapporto preliminare di sicurezza (*Preliminary Safety Analysis Report PSAR*), nonché l'esecuzione dello Studio di Impatto Ambientale (SIA) ai fini della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) – D.Lgs. 31/2010 Articolo 28 (Istanza per il rilascio dell'autorizzazione unica e attività istruttoria).

### **5.1 AMBITI DI CARATTERIZZAZIONE**

Le linee guida di cui al presente documento seguono uno schema descrittivo che, facendo riferimento alle fasi temporali definite nella normativa e al grado di approfondimento richiesto per ognuna di esse, si articola in *ambiti disciplinari* di caratterizzazione.

In accordo con la definizione di *modello di sito* fornita in precedenza (cfr. nota 1), sono stati individuati e distinti diversi settori disciplinari o *ambiti di caratterizzazione*, per la cui definizione si è fatto riferimento sia agli approcci metodologici e analitici propri di ogni disciplina sia al tipo di competenze coinvolte. La suddivisione del processo di caratterizzazione in *ambiti* va quindi considerata come una rappresentazione schematica di un insieme complesso (la caratterizzazione), funzionale alla definizione delle "linee guida" per le attività specialistiche cui far riferimento nella programmazione delle indagini tecniche. La distinzione in ambiti di caratterizzazione ha quindi una valenza puramente descrittiva ed esplicativa: i diversi ambiti disciplinari di approfondimento non vanno quindi considerati separatamente per quanto attiene agli aspetti di programmazione ed esecuzione delle indagini, ma come componenti di un unico articolato processo. Come sarà ricordato più volte nel seguito, le indagini che verranno programmate ed eseguite per la modellazione di sito relativa ad uno specifico ambito di caratterizzazione (ad esempio, i sondaggi geognostici per la modellazione geotecnica) consentiranno l'acquisizione dati e l'esecuzione di prove e analisi, funzionali anche agli altri ambiti (ad es.: idrogeologia, geologia, geochimica, modellazione sismica, ecc.).

I vincoli temporali imposti dalla normativa per la fase di caratterizzazione del sito del Deposito Nazionale, unitamente alla complessità associata all'esecuzione delle indagini relative agli ambiti rilevanti ai fini dell'analisi di sicurezza e della

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



progettazione, rendono indispensabile la definizione *a priori* quanto più possibile rigida di tutte le fasi del processo, delle componenti interessate e dei risultati attesi, in modo da ridurre errori, mancanza di dati o approfondimenti inutili.

La Tabella 5.1 definisce schematicamente i diversi *step* di approfondimento, per ognuno degli ambiti presi in considerazione, articolando l'analisi secondo il *timing* definito dalle normative ISPRA/IAEA:

- nel settore a sinistra (evidenziato blu) sono riportate le fasi del processo, sia secondo lo schema ISPRA che secondo la IAEA;
- per ogni ambito di caratterizzazione, andranno definiti i criteri di riferimento
- nel resto della tabella, ad ogni livello di approfondimento (indicato in blu) è associata una breve descrizione della tipologia di indagini o studi e il risultato atteso;
- le ultime righe della tabella individuano le fasi successive alla fine del processo di caratterizzazione che dovranno basarsi sui risultati del processo stesso.

Per ogni ambito di caratterizzazione è stato elaborato un paragrafo che descrive in maniera approfondita ogni fase del processo in termini di obiettivi specifici e generali, metodologia, tecniche di indagine, risultati attesi, elementi rilevanti per l'analisi comparativa, parametri di controllo, interazioni con altre componenti del processo, caratteristiche dell'elaborato prodotto.

In generale, il prodotto finale degli studi relativi ad ognuno degli ambiti di caratterizzazione deve essere un modello parziale di sito integrabile nel modello generale relativo a ciascuna fase di approfondimento.

Infatti, come già sottolineato, l'insieme delle operazioni di caratterizzazione, progettazione e valutazione della sicurezza, sono tra loro strettamente connesse, in relazione costante, e procedono in modo iterativo per fasi successive di approfondimento crescente.

Il sistema di gestione e condivisione del processo di caratterizzazione delineato in precedenza, deve inoltre poter consentire la periodica verifica ed eventuale revisione anche delle modalità di indagine da parte di tutti gli attori del processo di qualificazione.

Nel seguito, per ogni ambito di caratterizzazione, lo schema concettuale per l'elaborazione del programma di indagini per la qualificazione del sito è articolato per gradi di approfondimento successivo organizzate secondo le fasi ISPRA (GT 29) e IAEA (SSG-29) descritte estesamente in precedenza.

Le Tabelle 5.2 e 5.3 elencano gli ambiti di caratterizzazione descritti nei paragrafi successivi associando ad ognuno di essi i relativi Criteri ISPRA di esclusione ed approfondimento.

Come già detto, l'intero processo di localizzazione, selezione, individuazione, caratterizzazione e conferma del sito, viene qui considerato funzionale alla sua *qualificazione*, intendendo con tale termine il riconoscimento formale e definitivo



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



dell'idoneità del sito proposto alla localizzazione del Parco Tecnologico e annesso Deposito Nazionale come stabilito dal D.Lgs. 31/2010 e ss.mm.ii..

La "procedura tipo" cui si fa riferimento è applicabile sia in presenza di più aree "oggetto di intesa", sia in presenza di una sola area o di un unico sito, in quanto delinea un processo di caratterizzazione per la qualificazione del sito organizzato per gradi successivi di approfondimento che conducono alla progressiva elaborazione e affinamento del modello di sito.

Nel caso in cui la procedura debba fare riferimento ad un solo sito, le linee guida per l'elaborazione del programma delle indagini, dovranno considerare tutte le fasi di modellazione proposte nel seguito, non più finalizzate alla localizzazione e alla selezione di un sito tra più siti possibili, ma come *step* successivi del processo di caratterizzazione; gli elementi forniti per orientare eventuali analisi comparative, potranno essere considerati nella modellazione di sito a supporto di scelte progettuali a scala di maggior dettaglio.

Nel corso delle prove e delle indagini di caratterizzazione saranno prelevati numerosi campioni da tutte le componenti ambientali che costituiscono il sito in cui verrà realizzato il Deposito Nazionale (campioni di rocce, terre, suolo, acqua, piante, animali, ecc.); tali campioni verranno sottoposti a un insieme articolato di studi, misure e analisi di laboratorio, in accordo con le esigenze di caratterizzazione e modellazione di sito.

Lo scopo della raccolta di campioni biologici e abiotici non è solo finalizzata a definire un *Baseline Monitoring* e un monitoraggio a lungo termine del sito, ma è rivolto anche allo studio delle trasformazioni ambientali causate dal cambiamento climatico globale, dallo sviluppo di nuove pratiche agricole e forestali e, in generale, dallo sviluppo locale del territorio, al fine di consentire valutazioni di impatto del Deposito Nazionale anche a lungo termine.

Tutto il materiale prelevato e analizzato, come anche tutti i risultati degli studi di caratterizzazione, i modelli in scala e le simulazioni, dovrà essere correttamente conservato e reso disponibile per lo studio e la consultazione pubblica per tutto il periodo di esistenza del Deposito Nazionale (fasi di costruzione, esercizio e controllo istituzionale).

Data la grande mole di campioni, dati, modelli e studi prodotti in fase di caratterizzazione, unitamente ai risultati del monitoraggio continuo delle strutture e dell'ambiente, potrà essere progettata e realizzata una apposita struttura all'interno del Parco Tecnologico finalizzata alla conservazione, al controllo e alla consultazione dell'insieme dei dati di caratterizzazione e monitoraggio.

Si terrà conto di tale esigenza già nella programmazione delle prime fasi di indagine, elaborando apposite procedure di trattamento e conservazione temporanea dei materiali.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---

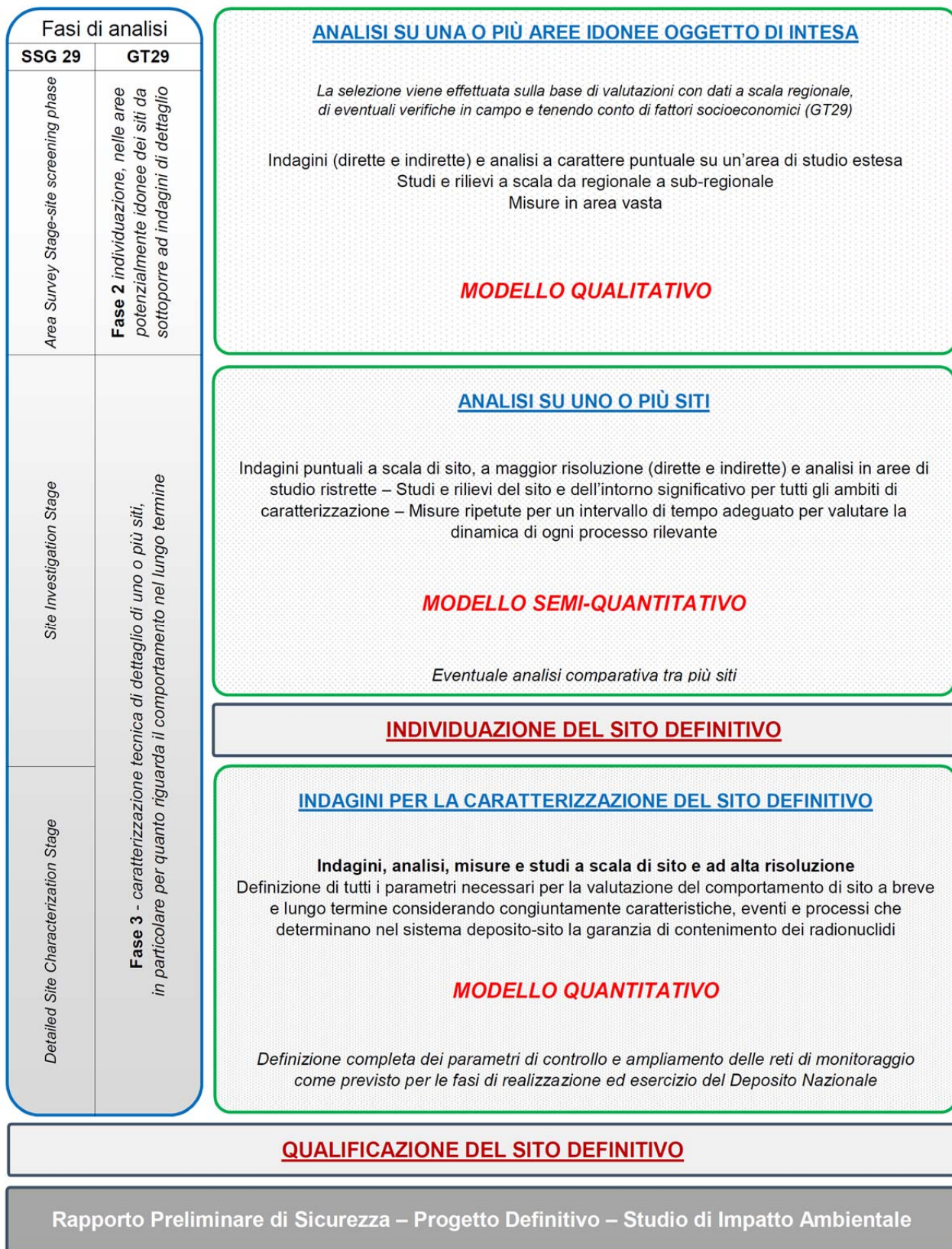


Tabella 5.1 – Fasi di analisi per ogni ambito di caratterizzazione.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del programma delle indagini per la qualificazione del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE7	CE8	CE9	CE10	CE11	CE12	CE13	CE14	CE15
<b>GEOLOGIA E GEOTECNICA</b>	X	X			X				X						
<b>IDROGEOLOGIA</b>									X	X				X	
<b>GEOCHIMICA</b>										X				X	
<b>FAGLIAZIONE SUPERFICIALE</b>			X												
<b>SISMICITA'</b>		X													
<b>GEOMORFOLOGIA</b>				X	X	X	X	X							
<b>IDROLOGIA</b>				X	X			X		X					X
<b>CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA</b>															
<b>AGENTI FISICI</b>															X
<b>ASPETTI NATURALISTICI</b>											X				
<b>ASPETTI ANTROPICI</b>															
<b>Uso del suolo</b>															
<b>Geografia umana</b>												X			
<b>Uso delle acque</b>														X	
<b>Infrastrutture di trasporto</b>													X		
<b>Infrastrutture critiche strategiche o rilevanti</b>															X

Tabella 5.2 – Ambiti di caratterizzazione e relativi criteri ISPRA di esclusione.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del programma delle indagini per la</b> <b>qualificazione del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	CA7	CA8	CA9	CA10	CA11	CA12	CA13
<b>GEOLOGIA E GEOTECNICA</b>	X	X	X				X						
<b>IDROGEOLOGIA</b>								X					
<b>GEOCHIMICA</b>									X				
<b>FAGLIAZIONE SUPERFICIALE</b>			X										
<b>SISMICITA'</b>													
<b>GEOMORFOLOGIA</b>		X		X	X								
<b>IDROLOGIA</b>					X			X					
<b>CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA</b>						X		X					
<b>AGENTI FISICI</b>						X			X			X	X
<b>ASPETTI NATURALISTICI</b>										X			
<b>ASPETTI ANTROPICI</b>													
Uso del suolo										X	X		
Geografia umana											X		
Uso delle acque								X					
Infrastrutture di trasporto												X	
<b>Infrastrutture critiche strategiche o rilevanti</b>													X

Tabella 5.3 – Ambiti di caratterizzazione e relativi criteri ISPRA di approfondimento.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 5.2 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – GEOLOGIA E GEOTECNICA

In accordo con la SSG – 29 *Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste*, la geologia del sito di realizzazione del deposito deve contribuire all'isolamento del rifiuto e limitare il rilascio di radionuclidi verso la *biosfera*; le caratteristiche geologiche del sito e del suo intorno significativo contribuiscono inoltre alla stabilità globale e alla funzionalità delle strutture del deposito.

Per quanto attiene agli aspetti geotecnici, la NS-R-3 IAEA *Site Evaluation for Nuclear Installations* evidenzia la necessità di approfondire i fenomeni di potenziale instabilità dei versanti che potrebbero avere effetti sulla sicurezza dell'impianto e i potenziali fenomeni di collasso, subsidenza o sollevamento del terreno; allo stesso modo va valutata la sicurezza del sito nei confronti dei fenomeni di liquefazione e, più in generale, tutti gli aspetti relativi alla stabilità e al comportamento a breve e lungo termine dei terreni di fondazione in condizioni statiche e dinamiche (sismiche e post-sismiche) anche in rapporto alle caratteristiche idrogeologiche.

### **Obiettivi della caratterizzazione – Geologia e Geotecnica**

Le indagini per la qualificazione del sito in cui realizzare il Parco Tecnologico – Deposito Nazionale, devono condurre alla definizione di un modello quantitativo geologico e geotecnico di sottosuolo, sufficientemente esteso, rigoroso e approfondito, su cui basare le analisi di sicurezza, la progettazione ingegneristica e l'analisi del comportamento a breve e lungo termine del complesso struttura – terreno.

In generale, il *Modello Geologico di Riferimento (MGR)* può essere definito come la "ricostruzione concettuale dell'assetto geometrico tridimensionale e della successione temporale e spaziale degli eventi geologici che caratterizzano una determinata porzione di sottosuolo" (*Recommendations for Reliability Quantification of the Geological Model in Large Civil Engineering Projects* IAEG – *International Association for Engineering Geology and Environment – Italian Group* – 2009).

Il Modello Geologico di Riferimento descrive quindi un sito in modo rigoroso e completo, nelle sue dimensioni spaziali e temporali, definendone l'assetto attuale e la possibile evoluzione futura; tale modello consente la progressiva elaborazione del Modello Geotecnico con la definizione dei parametri geotecnici e geomeccanici *caratteristici* necessari alla progettazione.

In sintesi, il Modello Geologico di Riferimento di un sito consente di prevederne le possibili evoluzioni a breve e lungo termine e di individuarne e descriverne le possibili criticità. Nel Modello Geologico di Riferimento devono essere definiti i caratteri litologici, stratigrafici, strutturali e il livello di *pericolosità geologica* del territorio in cui ricade il sito, con il livello di precisione e affidabilità proprio di ciascuna fase del processo di caratterizzazione.

Il Modello Geotecnico viene sviluppato a partire dal modello geologico, e può essere definito come una rappresentazione schematica del sottosuolo attraverso la definizione di *Unità Geotecniche* con caratteristiche fisico – meccaniche omogenee

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



(struttura, caratteristiche fisiche, resistenza al taglio e rigidità, compressibilità e deformabilità, storia tensionale); il Modello Geotecnico, con il grado di precisione e affidabilità proprio di ogni fase del processo di caratterizzazione, deve consentire la definizione dei parametri geotecnici e geomeccanici delle terre e degli ammassi rocciosi, in condizioni statiche e dinamiche, necessari per la progettazione geotecnica, per le verifiche della sicurezza e delle prestazioni e per l'analisi del comportamento a lungo termine nelle diverse condizioni previste.

### **Criteria ISPRA – Norme IAEA**

Le caratteristiche geologiche e geotecniche del sito del Parco Tecnologico sono state considerate nella formulazione dei criteri di esclusione e di approfondimento (Guida Tecnica 29) con riferimento ai seguenti aspetti:

- *Stabilità geologica (geomorfologica e idraulica) dell'area al fine di garantire la sicurezza e la funzionalità delle strutture ingegneristiche da realizzare secondo barriere artificiali multiple;*
- *Confinamento dei rifiuti radioattivi mediante barriere naturali [...]*
- *Isolamento del deposito da risorse naturali del sottosuolo*

I criteri di esclusione relativi agli aspetti geologici e geotecniche del sito, sono i seguenti:

<b>CE1</b>	Esclusione delle aree vulcaniche attive o quiescenti
<b>CE2</b>	Esclusione di aree contrassegnate da sismicità elevata
<b>CE5</b>	Esclusione di aree contraddistinte dalla presenza di depositi alluvionali di età olocenica
<b>CE9</b>	Esclusione delle aree interessate dal processo morfogenetico carsico o con presenza di sprofondamenti catastrofici improvvisi ( <i>sinkholes</i> )
<b>CE14</b>	Esclusione di aree caratterizzate dalla presenza nota di importanti risorse del sottosuolo

I criteri di approfondimento, che individuano gli aspetti che vanno valutati nelle fasi di localizzazione, sono i seguenti:

<b>CA1</b>	Presenza di manifestazioni vulcaniche secondarie
<b>CA2</b>	Presenza di movimenti verticali significativi del suolo in conseguenza di fenomeni di subsidenza e di sollevamento (tettonico e/o isostatico)
<b>CA3</b>	Assetto geologico-morfostrutturale e presenza di litotipi con eteropia verticale e laterale
<b>CA7</b>	Parametri fisico-meccanici dei terreni

Le principali norme IAEA cui si può far riferimento per la progettazione del piano di indagini e per la definizione degli obiettivi di caratterizzazione sono le seguenti:

- *SSG-29 – Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste*



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



- SSG-35 – *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations*
- SSR-1 – *Site Evaluation for Nuclear Installations*
- NS-G – 3.6 – *Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants*
- SSG-21 – *Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations.*

### **Aspetti metodologici**

L'approccio metodologico generale definito nei capitoli 2 e 3 costituisce la base per la progettazione e lo sviluppo del programma di indagini relativo agli aspetti geologici e geotecnici.

Il programma di indagini deve essere articolato *per gradi di approfondimento crescente* che conducano alla localizzazione e alla completa caratterizzazione del sito definitivo; le prime campagne di indagine, unitamente ai dati utilizzati per la redazione della CNAPI, costituiranno la base conoscitiva per l'elaborazione di un modello geologico e geotecnico iniziale di sito che dovrà essere continuamente implementato e revisionato allo scopo di indirizzare lo sviluppo del piano di indagini e condurre al modello quantitativo a supporto delle attività di qualificazione del sito definitivo.

In accordo con l'approccio metodologico sopra descritto, anche la *programmazione* delle indagini *in situ* deve essere strutturata come un processo *aperto* sottoposto a continua verifica e suscettibile di modifiche e integrazioni sulla base dell'analisi dei modelli di sito via via prodotti.

In tutte le fasi di indagine, la modellazione geologica e geotecnica deve integrarsi – sia per quanto riguarda la programmazione delle indagini che per quanto attiene alla modellazione di sito – con gli studi relativi agli aspetti idrogeologici, geomorfologici, geochimici e sismotettonici (vedi oltre).

Le attività di indagine e gli studi di dettaglio dovranno essere condotti entro un *intorno significativo del sito*, la cui estensione dipende prevalentemente dal tipo di "parametro" da indagare, dalle caratteristiche locali della zona di indagine e dall'areale di riferimento per le attività di monitoraggio e le analisi di sicurezza. Ad esempio, la modellazione geologica, la ricostruzione dell'assetto strutturale, della stratigrafia profonda e lo studio di alcuni processi ad ampia scala (ad esempio i fenomeni vulcanici), richiedono di effettuare studi e indagini a scala regionale mentre la modellazione geotecnica si riferisce ad areali più prossimi alla zona di interesse.

La costruzione del Modello Geologico di Riferimento (MGR) e del Modello Geotecnico è un processo iterativo complesso costituito da più fasi schematicamente descritto nel seguente diagramma (tratto da Giarratana & Griffini, 2011, ridisegnato e modificato):

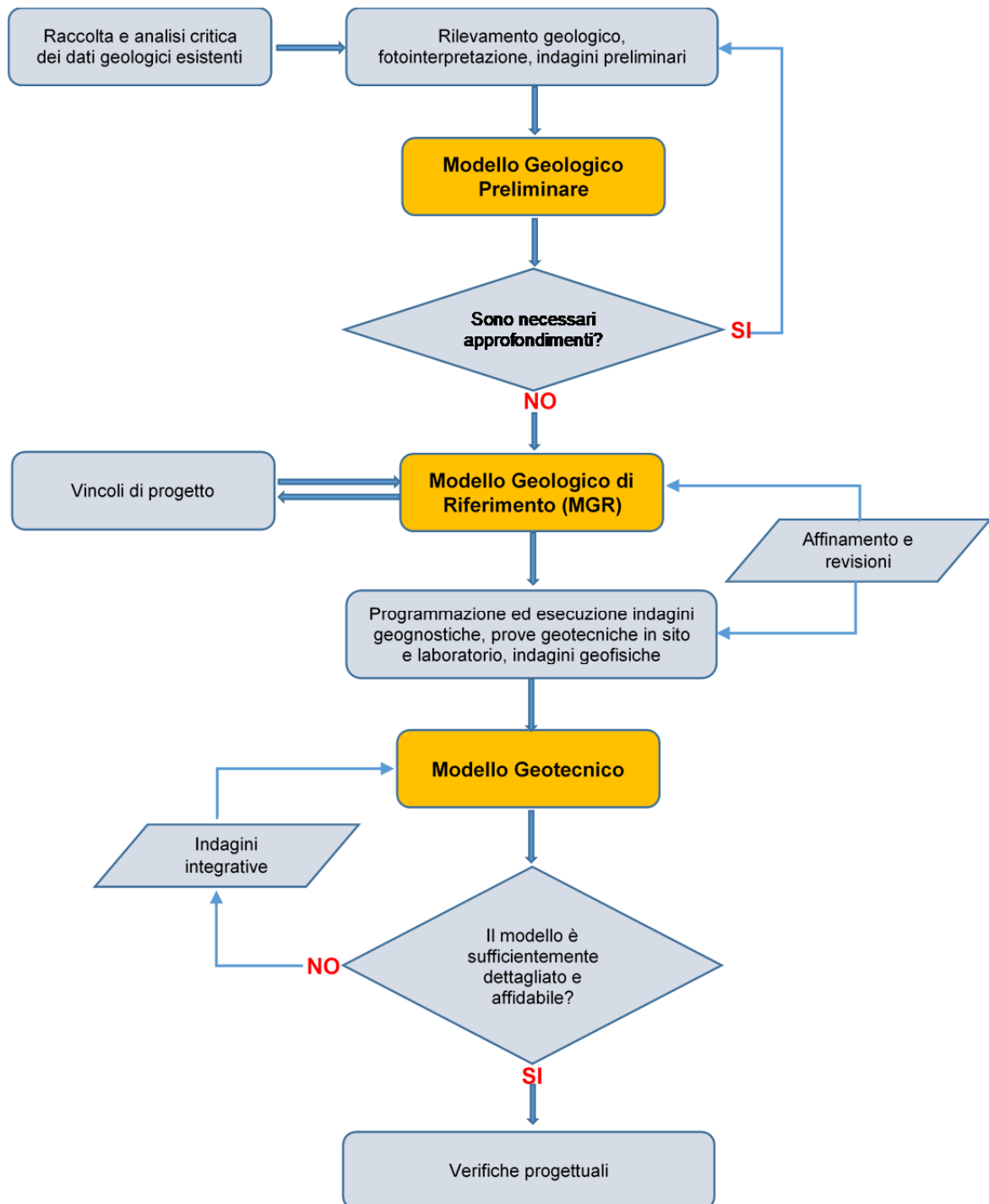


Figura 5.1 – Processo di elaborazione del Modello Geologico di Riferimento e del Modello Geotecnico.

Esistono diversi metodi quantitativi che consentono di valutare l'*affidabilità* di un modello geologico (IAEG, 2009 *op. cit.*), parametro che esprime il grado di corrispondenza tra il modello stesso e la realtà; nel corso del progressivo sviluppo del Modello Geologico di Riferimento e del Modello Geotecnico del sito del Deposito

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Nazionale, andrà effettuata una continua verifica quantitativa del loro grado di *affidabilità*, utilizzando diversi metodi e tenendo presente il grado di approfondimento richiesto da ogni fase del processo di analisi.

Per quanto attiene alla programmazione delle indagini è possibile schematizzare – per ogni fase di approfondimento – un processo conoscitivo basato su metodologie e tecniche analitiche a dettaglio e risoluzione crescenti:

1. *Raccolta sistematica e analisi critica di tutta la documentazione disponibile*: studi e pubblicazioni scientifiche, documentazione tecnica a supporto di progetti privati o pubblici e/o di strumenti di pianificazione territoriale (ad esempio P.R.G., studi di Microzonazione Sismica, ecc.), banche dati del sottosuolo, fotointerpretazione ecc.
2. *Rilievi di superficie*: rilievi topografici e rilevamento geomorfologico (vedi ambito *geomorfologia*), rilevamento geologico, rilevamento geologico-tecnico e/o geomeccanico, ecc.
3. *Esecuzione di indagini in situ*: indagini geognostiche (perforazioni, sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni, ecc.), prove geotecniche *in situ* (prove geotecniche in foro di sondaggio, prove penetrometriche statiche e dinamiche, prove dilatometriche, prove pressiometriche, prove di carico, ecc.), analisi di laboratorio geotecnico, analisi chimico-fisiche (datazioni radiometriche, analisi paleomagnetiche, ecc.) e paleontologiche, indagini geofisiche in superficie e in foro (sismica attiva e passiva, prove down-hole/cross-hole, geoelettrica, gravimetria, elettromagnetometria, georadar, magnetometria, *log* in foro di sondaggio, magnetotellurica, ecc.) installazione di strumentazione geotecnica in foro, installazione strumenti di misura per il monitoraggio, prove su modelli reali in scala, ecc..

In generale, la completa definizione delle tipologie di indagine (dirette e indirette) più adatte alle esigenze modellistiche e progettuali è subordinata alle caratteristiche dell'area di indagine e del contesto ambientale in cui essa è inserita (sito-dipendente). Per quanto riguarda le indagini geofisiche va sottolineato che, trattandosi di indagini indirette, la loro efficacia nello studio del sottosuolo è legata all'utilizzo integrato di più tecniche di indagine dal cui confronto è possibile ottenere modelli più affidabili (ad esempio: metodi sismici di superficie e in foro per la modellazione sismica di sito; sismica a riflessione ad alta risoluzione e gravimetria per la caratterizzazione strutturale; prospezioni geoelettriche ad alta risoluzione con metodi TDEM e magnetotellurici per l'individuazione di spessori a bassa permeabilità; ecc.).

Facendo riferimento alle fasi del processo di localizzazione e caratterizzazione del sito ai fini della sua qualificazione (GT29-SSG29) e alle fasi successive di costruzione ed entrata in esercizio del Deposito, il contributo delle diverse tipologie di indagine alla elaborazione del modello geologico e geotecnico di sito, varia in relazione al grado di affidabilità e approfondimento richiesto da ciascuna fase del processo, in accordo con le esigenze di progettazione e analisi di sicurezza. A titolo esemplificativo, lo schema seguente (Figura 5.2) evidenzia graficamente il peso relativo di ciascuna tipologia di indagine nelle varie fasi:

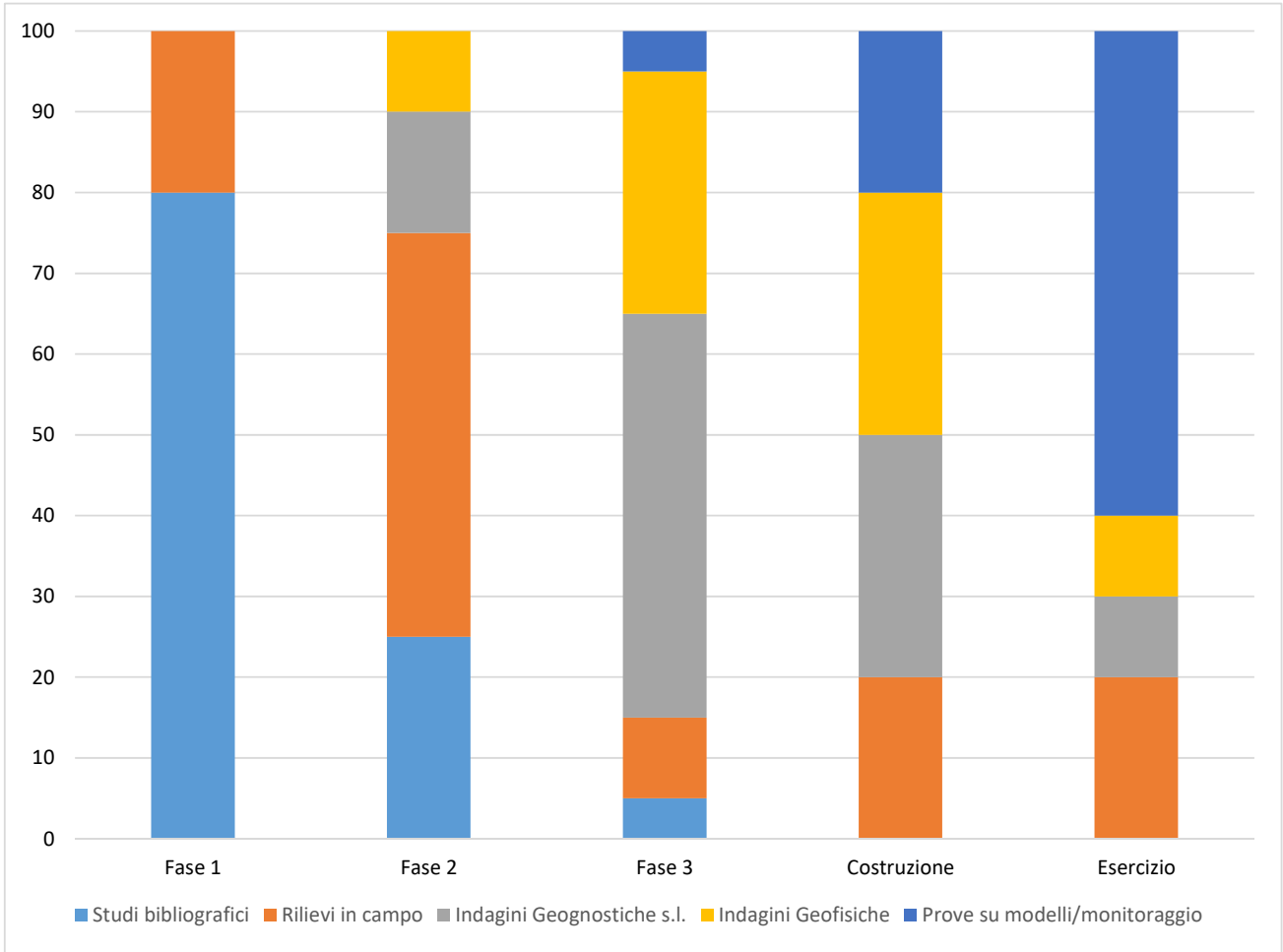


Figura 5.2 - Contributo delle diverse tipologie di indagine alla elaborazione del modello di sito.

**Valutazione della pericolosità vulcanica**

Le indagini e gli studi finalizzati alla valutazione della pericolosità vulcanica, richiedono un approccio specifico descritto brevemente nel seguito.

Nella definizione delle aree vulcaniche attive e quiescenti e a integrazione degli studi effettuati nelle fasi precedenti del processo di localizzazione, sarà necessario verificare, ad una scala di studio via via più dettagliata, la completa conformità delle caratteristiche dell'area/e in relazione alla *pericolosità vulcanica*, intendendo con tale termine la probabilità che un evento o fenomeno di determinata intensità possa verificarsi in un certo intervallo di tempo in una data zona.

In questo quadro generale, le sorgenti vulcaniche italiane attive e quiescenti, caratterizzate da una persistenza dell'attività fino a centinaia di migliaia di anni, da un'ampia varietà di stili eruttivi e da tempi di ritorno delle eruzioni fino a decine di migliaia di anni, richiedono una valutazione quantitativa delle probabilità di accadimento annua delle diverse tipologie di fenomeni eruttivi. In particolare, le indagini di sito, in funzione della distanza e delle caratteristiche delle diverse

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



sorgenti vulcaniche, dovranno definire gli scenari eruttivi di riferimento, ovvero la descrizione quantitativa dei fenomeni vulcanici potenzialmente in grado di interferire con il sito stesso. Tali indagini, sulla base della letteratura scientifica e dell'acquisizione di nuovi dati geochimici, stratigrafici, tefrostratigrafici, geocronologici e vulcanologici, saranno mirate a definire, per ciascuno scenario eruttivo di riferimento, la probabilità di accadimento annuo.

Gli scenari eruttivi con probabilità di accadimento annuo statisticamente rilevante, saranno oggetto di modellazione numerica; in particolare, saranno simulate le dinamiche di propagazione dei flussi piroclastici, dei *lahar* e delle colonne eruttive pliniane al fine di determinare le potenziali aree di dispersione e, quindi, di valutare quantitativamente l'impatto delle eruzioni vulcaniche sul sito e sul bacino idrologico di pertinenza (compresi i laghi vulcanici) fino alle aree medio-distali, ossia da decine a centinaia di chilometri dalle sorgenti vulcaniche. Su queste basi saranno definite due classi di scenari eruttivi di riferimento:

- eventi potenzialmente in grado di interferire con le scelte progettuali, quali ad esempio gli *ash fallout* o la dispersione di gas e di piogge acide in aree distali;
- eventi potenzialmente in grado di interferire con la stabilità del sito e, quindi, rappresentare elementi di esclusione del sito, quali ad esempio flussi piroclastici, colate, *lahar*, ecc. (per le aree vulcaniche prossimali).

Nelle aree vulcaniche prossimali sarà necessario individuare eventuali volumi crostali a bassa velocità mediante tomografia sismica al fine di riconoscere la presenza di serbatoi magmatici o zone ricche di fluidi ad alta temperatura. La presenza o meno di serbatoi magmatici nella crosta è dirimente nell'interpretazione di eventuali anomalie nei segnali geofisici e geochimici quali elementi caratterizzanti lo stato attuale dell'area vulcanica ovvero come precursori di ripresa di attività vulcanica.

Risulta quindi fondamentale, oltre alle indagini finalizzate alla definizione degli scenari eruttivi, definire lo stato di fondo (*background*) delle sorgenti vulcaniche che risultino potenzialmente in grado di interferire con la stabilità del sito. La definizione del *background* delle sorgenti vulcaniche sarà utile a riconoscere e interpretare eventuali anomalie nei segnali geofisici (sismicità e microsismicità, anomalie termiche e deformazioni crostali) e dei segnali geochimici (con particolare riferimento alle emissioni di gas radiogenici e non radiogenici) osservate nelle successive fasi di sviluppo e di messa in esercizio del deposito.

### **Monitoraggio**

Nel capitolo 4 sono state definite le funzioni e i principi generali sulla base dei quali deve essere sviluppato il programma di monitoraggio per un deposito per rifiuti radioattivi di tipo superficiale.

Per quanto riguarda gli aspetti geologici e geotecnici, il monitoraggio dovrà estendersi a tutte le componenti del suolo e sottosuolo la cui variazione potrebbe compromettere la stabilità e la funzionalità del deposito a breve e lungo termine

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



(variazione nelle caratteristiche dei terreni e/o dello stato tensionale nel sottosuolo, deformazioni superficiali o profonde, variazioni delle pressioni interstiziali, accelerazioni, ecc.) con potenziali conseguenze sulla sicurezza.

Anche per quanto attiene al monitoraggio, per ognuno dei parametri, fenomeni o processi che saranno oggetto di controllo periodico a breve e lungo termine, dovrà essere definito l'*intorno significativo* rilevante.

Il Modello Geologico di Riferimento e il Modello Geotecnico sopra definiti, descrivono le condizioni del sito precedenti all'inizio dei lavori per la costruzione del Deposito Nazionale e individuano gli elementi rilevanti ai fini del monitoraggio del sito durante le fasi di costruzione e di esercizio; tali modelli definiscono quindi il valore di riferimento (*baseline*) di tutti quei i parametri la cui variazione potrebbe avere effetti sulla funzionalità e la sicurezza del Deposito.

La rilevanza del monitoraggio per la verifica della corrispondenza tra ipotesi progettuali e comportamento reale del complesso opera – terreno al fine di controllare la funzionalità dei manufatti nel tempo è sottolineata anche nelle Norme Tecniche delle Costruzioni in vigore (NTC 2018 par. 6.2.6): *il monitoraggio del complesso opera-terreno e degli interventi consiste nella installazione di un'appropriata strumentazione e nella misura di grandezze fisiche significative – quali spostamenti, tensioni, forze e pressioni interstiziali – prima, durante e/o dopo la costruzione del manufatto.*

Tali concetti sono espressi in modo analogo anche nella NS-G-3.6 che evidenzia la necessità di verificare i modelli previsionali sulla base della misura delle effettive condizioni di carico e delle deformazioni, così da poter rivedere le previsioni a lungo termine incrementandone il grado di affidabilità.

## **CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA NELLA FASE 2 GT29 - INDIVIDUAZIONE, NELLE AREE POTENZIALMENTE IDONEE DEI SITI DA SOTTOPORRE AD INDAGINI DI DETTAGLIO**

Nella fase 2 della GT29, il modello di sito dovrà eventualmente consentire l'individuazione, all'interno delle aree potenzialmente idonee "oggetto di intesa", dei siti da sottoporre ad indagini di dettaglio; il livello di approfondimento delle indagini proprie di questa fase di caratterizzazione e *screening* è tale da consentire lo sviluppo di modelli semplificati e prevalentemente qualitativi.

Questa fase corrisponde all'*Area Survey Stage – site screening phase* della SSG – 29 che, per gli aspetti geologici e geotecnici, fa riferimento all'identificazione *approssimativa* della struttura geologica e della stratigrafia del sottosuolo, possibilmente con la definizione della geometria dei depositi e delle unità stratigrafiche. L'analisi si deve basare su studi bibliografici e rilievi in campo che prevedano l'esecuzione di un numero relativamente ridotto di indagini (dirette e indirette) e analisi e studi a scala vasta.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Facendo riferimento ai criteri ISPRA sopra citati, anche in questa fase andrà inizialmente verificata, ad un livello di dettaglio maggiore, la completa rispondenza delle caratteristiche dell'area ai vincoli imposti dai criteri di esclusione, individuando eventualmente ulteriori settori d'area da escludere dalla procedura di localizzazione. Per l'individuazione dei potenziali siti di realizzazione del deposito all'interno delle aree in studio, potrà farsi inizialmente riferimento alla valutazione degli elementi citati nei criteri di approfondimento.

In questa fase, per ognuna delle aree di indagine, dovrà essere elaborato un modello geologico preliminare di riferimento, sulla base del quale potranno essere indicati il sito o i siti in cui approfondire il dettaglio delle indagini; allo stesso modo dovrà essere sviluppata una modellazione preliminare di sito relativa agli aspetti geotecnici. Anche in questa fase del processo l'areale di riferimento per la definizione del modello corrisponde all'*intorno significativo* sopra definito.

I modelli elaborati in questa fase del processo di localizzazione, per quanto caratterizzati da un grado di *affidabilità* relativamente meno elevato, dovranno consentire l'esecuzione di scelte di tipo progettuale correlate alla sicurezza e alla funzionalità del deposito, fornendo la base per i modelli semi-quantitativi che consentiranno lo sviluppo del piano di indagine del sito "definitivo" proposto.

Tutti gli studi, le indagini *in situ* e le analisi di laboratorio, dovranno essere eseguite nel rispetto delle norme di legge, degli standard di riferimento, delle raccomandazioni e specifiche tecniche elencate nel capitolo 3 del presente documento e che SOGIN indicherà nel Piano e programma delle indagini tecniche da sottoporre all'Autorità di Controllo (ISIN) come stabilito al comma 10 dell'art. 27 del D.Lgs. 31/2010 e ss.mm.ii..

La distribuzione e il numero totale delle indagini *in situ* dirette o indirette possono dipendere da diversi fattori quali le caratteristiche dell'area e il grado di *affidabilità* richiesto: si potrà procedere secondo criteri geometrico-statistici o basandosi sui risultati delle fasi di studio bibliografico/documentale e dei rilevamenti di superficie; le indagini saranno funzionali a più ambiti di caratterizzazione, sarà pertanto opportuno coordinare i diversi studi specialistici, al fine di massimizzare l'efficienza del piano di indagine ed evitare ridondanze o approfondimenti inutili.

Per alcuni degli aspetti legati alla sicurezza (*safety related*), dovranno essere svolte valutazioni relative ai seguenti aspetti:

- Pericolosità vulcanica (in accordo con le indicazioni della SSG-21, vedi sopra)
- Potenziale di liquefazione dei depositi del sottosuolo (sulla base della modellazione sismica di sito preliminare e del modello idrogeologico preliminare)
- Stabilità dei versanti (in condizioni statiche e dinamiche)
- Movimenti verticali del terreno
- Eventuale presenza di depositi alluvionali di età olocenica non individuati in precedenza

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



- Eventuale presenza di cavità sotterranee o fenomeni carsici non individuati in precedenza

Tali verifiche, per quanto preliminari e legate al grado di affidabilità dei primi modelli di sito, potrebbero condurre all'ulteriore esclusione di porzioni di area.

Il modello geologico e geotecnico che verrà sviluppato in questa fase consentirà una definizione preliminare dei parametri che dovranno essere oggetto di monitoraggio nel corso delle fasi di costruzione ed esercizio del Deposito Nazionale.

Al termine di questa fase di indagine, il modello geologico - geotecnico dovrà integrarsi con modelli e informazioni propri degli altri ambiti di caratterizzazione; tale aspetto rende indispensabile l'adozione di sistemi avanzati di raccolta, gestione e condivisione dei dati sperimentali (par.: 2.3) con l'adozione preliminare di strumenti di modellazione/rappresentazione numerica.

Per ogni area indagata, tale processo produrrà un articolato modello *prevalentemente qualitativo* sulla base del quale potranno essere valutate le diverse componenti ambientali (compresi gli aspetti antropici e socio-economici) e individuati i siti da sottoporre ad indagini di dettaglio.

### **CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA NELLA FASE 3 GT29 – CARATTERIZZAZIONE TECNICA DI DETTAGLIO DI UNO O PIÙ SITI, IN PARTICOLARE PER QUANTO RIGUARDA IL COMPORTAMENTO NEL LUNGO TERMINE**

La fase finale del processo di analisi deve condurre progressivamente alla completa caratterizzazione e modellazione quantitativa ai fini della qualificazione del sito definitivo per la realizzazione del deposito.

Come già accennato nella premessa di questa sezione, per quanto attiene agli aspetti geologici e geotecnici l'insieme delle indagini e degli studi dovrà definire in modo rigoroso, sistematico e oggettivo il Modello Geologico di Riferimento e il Modello Geotecnico ad elevato grado di *affidabilità*, su cui basare la progettazione geotecnica, le verifiche della sicurezza e delle prestazioni e l'analisi del comportamento a breve e lungo termine del sito definitivo nel suo complesso e dell'insieme strutture-terreno in tutte le condizioni previste.

La modellazione del sottosuolo deve svilupparsi attraverso la progressiva implementazione di modelli geologici quantitativi, elaborati attraverso tecniche di 3D *modeling* che conducono ad una più corretta rappresentazione del sottosuolo, consentendo la verifica della capacità risolutiva del modello e indirizzando le indagini in sito; il modello geologico 3D rappresenta il dato di base per l'elaborazione dei modelli geotecnici e idrogeologici quantitativi.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



La fase 3 è costituita da due *step* principali che trovano corrispondenza nelle fasi di caratterizzazione definite nella SSG-29: una prima fase di approfondimento (*Site Investigation Stage*) e una fase successiva con lo scopo di caratterizzare in dettaglio il sito da qualificare (*Detailed Site Characterization Stage*).

La SSG-35 fornisce alcune indicazioni di carattere generale circa i criteri cui far riferimento per l'elaborazione di una classifica basata sulle caratteristiche del sito: in generale, tali classifiche si basano su una combinazione tra criteri "di approfondimento" e criteri non direttamente legati alla sicurezza cui poter associare *pesi* relativi o valutazioni per giungere ad un ordinamento pesato delle alternative. Il grado di affidabilità dei modelli di sito su cui basare le operazioni di classifica deve essere elevato e confrontabile.

Il grado di approfondimento che deve essere raggiunto per l'affinamento dei modelli di sito, può dipendere da numerosi fattori e non è un parametro assoluto e univoco.

Per quanto riguarda gli aspetti geologici e geotecnici in questa fase (*Site Investigation Stage*) potranno essere valutati, oltre agli aspetti già considerati in precedenza (aspetti legati alla sicurezza/fattori di esclusione):

- l'eventuale presenza di manifestazioni vulcaniche secondarie (emissione di gas, fenomeni idrotermali, ecc.) e la possibilità di ricaduta di ceneri vulcaniche;
- la facilità di modellazione e la bassa complessità dei depositi del sottosuolo;
- i fenomeni di subsidenza o sollevamento;
- la stabilità dei versanti (fenomeni minori);
- fenomeni di liquefazione parziale
- le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche (struttura, caratteristiche fisiche, resistenza al taglio e rigidità, compressibilità e deformabilità, storia tensionale, comportamento in condizioni sismiche e post-sismiche anche in relazione a fenomeni di liquefazione parziale, ecc.) e la loro variabilità spaziale e temporale nel periodo di riferimento per la sicurezza e la funzionalità del Deposito Nazionale (fenomeni di degradazione/deformazione a lungo termine, possibili variazioni dello stato tensionale indotte da fenomeni locali o a scala regionale, effetti a lungo termine della sismicità naturale e/o indotta, caratteristiche della zona non satura, ecc.);
- il livello complessivo di *pericolosità* geologica;
- l'eventuale presenza di risorse del sottosuolo potenzialmente sfruttabili (idrocarburi, risorse minerarie o geochimiche ecc.) non note in precedenza ed evidenziate nel corso dell'elaborazione del modello geologico di sito.

La programmazione delle indagini per la qualificazione del sito dovrà basarsi sul livello di conoscenza e di affidabilità del modello elaborato nel corso delle prime fasi di indagine; come si è visto, tale parametro non può essere definito *a priori* in modo assoluto in quanto dipende da diversi fattori tra cui il numero di siti indagati, il numero e la qualità dei parametri presi in considerazione, i metodi di analisi multicriteri effettivamente utilizzati.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Il programma delle indagini geognostiche e geotecniche per la qualificazione definitiva deve essere sviluppato (con approccio interdisciplinare e con la possibilità di continue revisioni e integrazioni) in funzione degli obiettivi di modellazione sopra descritti e, nell'ultima fase, tenendo conto del tipo di opere e interventi previsti; in accordo con la modalità di gestione e condivisione dei dati descritte nel paragrafo 2.3 il processo di sviluppo ed esecuzione del programma di indagini è in relazione continua con le altre componenti del processo progettuale. Andranno ulteriormente verificati tutti gli aspetti già considerati nel corso del processo di localizzazione (criteri di esclusione e di approfondimento, fenomeni, parametri e processi analizzati ai fini della selezione).

Per quanto riguarda gli aspetti geologici e geotecnici, il passaggio da modelli qualitativi a un modello quantitativo deve consentire l'avvio delle prime iterazioni di calcoli progettuali e verifiche geotecniche di sicurezza nella fase di costruzione e in condizioni di esercizio, in condizioni statiche e dinamiche (sismiche e post-sismiche), relative al complesso struttura – terreno.

Per quanto attiene alla progettazione geotecnica, il modello di sito elaborato a partire dalle indagini dovrà almeno consentire l'esecuzione di calcoli e verifiche relative ai seguenti aspetti (NTC2018):

- Stabilità dei pendii naturali
- Opere di fondazione (superficiali e su pali)
- Opere di sostegno
- Opere in materiali sciolti e fronti di scavo
- Miglioramento e rinforzo dei terreni e degli ammassi rocciosi

Il risultato dei primi calcoli progettuali consentirà di evidenziare eventuali incertezze nel modello di sito, indirizzando la programmazione delle indagini, sia per quanto attiene alla loro ubicazione e densità, che per quanto riguarda la tipologia di indagine e il parametro sperimentale richiesto.

Potranno inoltre essere realizzati modelli reali in scala di opere e interventi previsti (opere in terra, fondazioni, opere di sostegno) da sottoporre a controlli e prove per valutare il comportamento dell'insieme opera-terreno a breve e lungo termine.

Nell'ambito delle indagini di maggior dettaglio, potranno essere approfonditi gli aspetti relativi alla disponibilità/reperibilità di materiali da costruzione (inerti, terre e rocce per rinterri e per la copertura finale, ecc.) in un intorno significativo del sito.

In quest'ultima fase andrà progettato e realizzato il sistema di monitoraggio e controllo dei parametri geologici e geotecnici la cui variazione potrebbe avere effetto sulla stabilità e la funzionalità delle strutture del deposito a breve e lungo termine; il *Progetto di Monitoraggio* deve descrivere i parametri e i fenomeni che si intende osservare, definendo il tipo, il numero, le modalità di installazione e la posizione degli strumenti, oltre che la frequenza, la modalità delle misure e le specifiche tecniche di riferimento.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Le indagini geognostiche eseguite per l'elaborazione del Modello Geologico di Riferimento e del Modello Geotecnico potranno consentire l'installazione di strumenti di misura (piezometri, inclinometri, assestimetri, estensimetri, ecc.) per la misurazione di parametri variabili nel tempo o l'individuazione di fenomeni più lenti non rilevabili in assenza di misure periodiche estese per un sufficiente periodo di osservazione.

Il sistema di monitoraggio resterà in funzione "in continuo" e dovrà essere ampliato e integrato nelle fasi di costruzione ed entrata in esercizio del Deposito, con l'installazione di strumenti di misura per il controllo delle strutture e degli eventuali interventi di riassetto dell'area (pendii artificiali, opere in terra, opere stradali, ecc.).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



### 5.3 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – IDROGEOLOGIA

Essendo l'acqua il mezzo più importante per il trasporto e la diffusione di radionuclidi nel lungo periodo, è indispensabile che la caratterizzazione dei siti individuati per ospitare il Deposito Nazionale porti ad una ricostruzione completa ed esaustiva del modello idrogeologico del sottosuolo e alla stima della sua probabile evoluzione nel tempo, nel dettaglio necessario sia per la progettazione dell'impianto che per l'analisi di sicurezza.

Nella scelta del sito devono essere pertanto privilegiate quelle caratteristiche idrogeologiche atte a favorire la funzione di barriera alla migrazione dei radionuclidi verso la biosfera.

#### **Obiettivi generali della caratterizzazione – Idrogeologia**

Secondo quanto indicato nella SSG-29 - *Requirement 15 of SSR-5* - il sito deve essere caratterizzato con un livello di dettaglio che porti ad una generale comprensione delle caratteristiche e della sua evoluzione nel tempo, considerando le condizioni attuali, la sua probabile evoluzione naturale e i possibili eventi antropici e naturali che potrebbero interferire con l'impianto nel corso del periodo di interesse.

La caratterizzazione dei sistemi idrogeologici del sito e di un vasto intorno è essenziale per lo Studio di Impatto Ambientale dell'opera, le analisi di sicurezza, il monitoraggio, la progettazione delle opere e l'analisi del comportamento a breve e lungo termine del complesso struttura-terreno.

Nello studio dei sistemi idrogeologici è fondamentale acquisire dati relativi alla geometria delle litoformazioni e all'assetto idrodinamico del sito e di un intorno significativo sufficientemente ampio per caratterizzare le potenzialità del trasporto in falda rispetto alla scala dei processi idrogeologici. Le metodologie di indagine saranno graduate per ricostruirne il modello idrogeologico, prima concettuale e successivamente quantitativo.

La caratterizzazione e la modellazione idrogeologica è basata sul modello geologico del sito. Nel passaggio dal modello geologico al modello idrogeologico del sito e del suo intorno significativo si attribuiscono ai terreni le caratteristiche idrogeologiche, si valuta quanto e come l'assetto stratigrafico e tettonico influiscano sull'andamento dei flussi idrici e sulle emergenze, identificando tipologia e geometria degli acquiferi; si individuano *aquiclude* e *aquitard*<sup>6</sup>, le zone di alimentazione, le relazioni fra acque superficiali e sotterranee e fra acquiferi superficiali ed acquiferi profondi, valutando quantità e qualità delle risorse idriche e loro uso attuale e potenziale.

<sup>6</sup> *Aquiclude*: terreno impermeabile a granulometria molto fine che contiene acqua ma non ne permette il flusso; *aquitard*: terreno semipermeabile ove il flusso dell'acqua avviene molto lentamente.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Il modello idrogeologico sarà sviluppato per fasi successive, a crescente livello di dettaglio e approfondimento relativamente agli aspetti idrodinamici, attraverso un programma di indagini che terrà conto del quadro conoscitivo disponibile e del livello di scala della fase di caratterizzazione.

Inizialmente lo studio idrogeologico e lo sviluppo del modello si baserà sull'analisi di dati bibliografici, rilievi di campo ed eventuali indagini preliminari a scala di area e/o di un intorno idrogeologico significativo che permetterà di definire un piano di indagini per dettagliare l'indicazione del sito definitivo e per realizzare la caratterizzazione finalizzata alla sua qualificazione. Il piano delle indagini dovrà necessariamente essere aggiornato alla conclusione della fase di indicazione del sito definitivo per effettuare l'integrazione delle indagini in relazione al maggiore dettaglio della caratterizzazione per la qualificazione del sito.

In tutte le fasi di indagine la modellazione idrogeologica dovrà integrarsi, mediante processi iterativi che consentiranno revisioni ed aggiornamenti – sia per quanto riguarda la programmazione delle indagini che per quanto attiene alla modellazione di sito – con gli studi relativi agli aspetti geologici, geomorfologici, geochimici, idrologici e meteo-climatici.

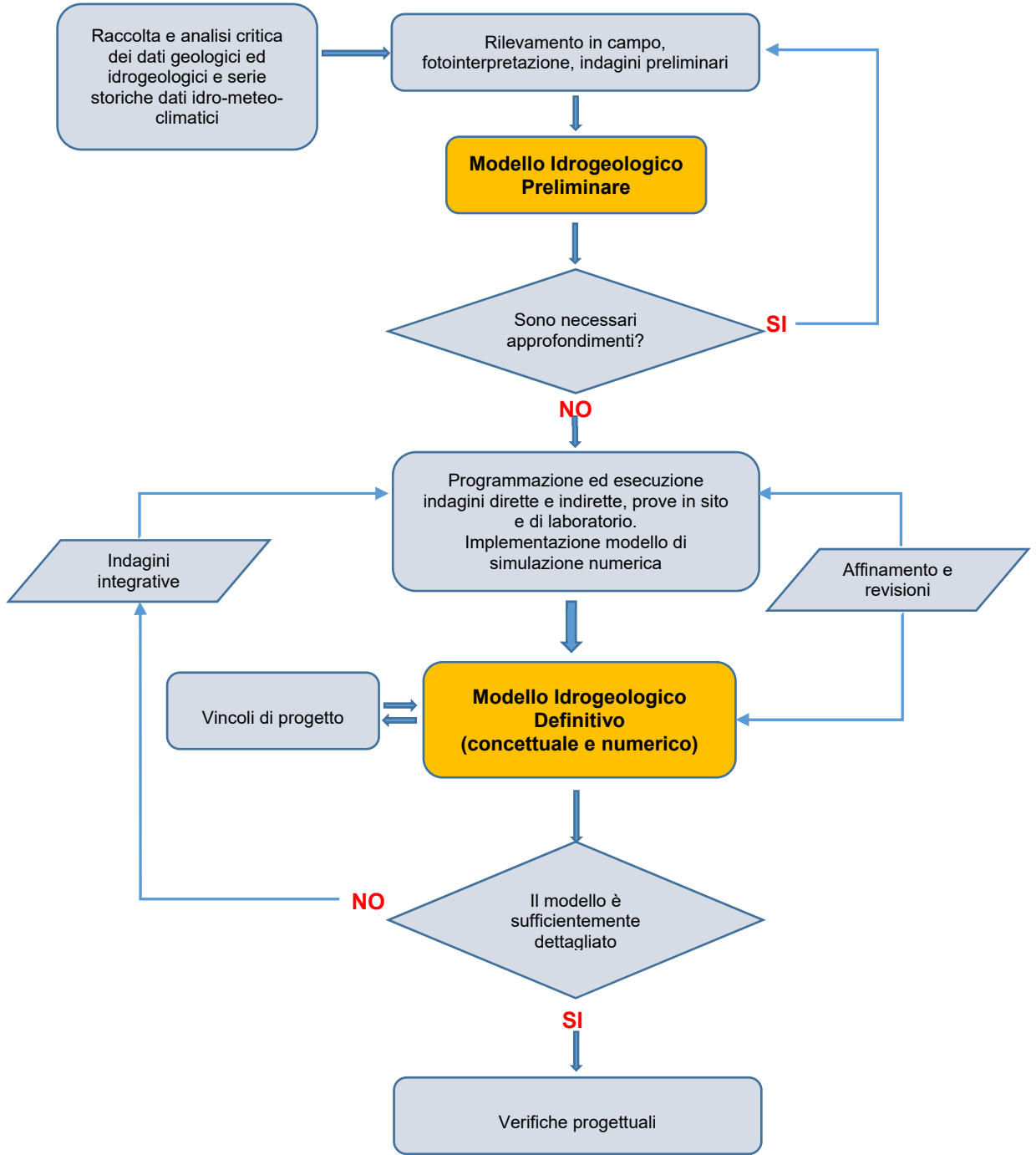


Figura 5.3 – Processo di elaborazione del Modello idrogeologico.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



### **Criteria ISPRA – Norme IAEA**

I criteria di esclusione concernenti l'ambito idrogeologico riportati nella Guida Tecnica n. 29, sono elencati nella tabella seguente.

<b>Sono da escludere le aree:</b>	
<b>CE9</b>	<b>Interessate dal processo morfogenetico carsico o con presenza di sprofondamenti catastrofici improvvisi (sinkholes)</b>  Il processo morfogenetico carsico genera un'elevata permeabilità per fratturazione e una sviluppata circolazione idrica sotterranea. Eventuali crolli delle volte di cavità carsiche ipogee possono avere risentimenti sino in superficie. Le aree con presenza di sprofondamenti catastrofici sono rappresentate nel Database Nazionale dei Sinkholes.
<b>CE10</b>	<b>caratterizzate da livelli piezometrici affioranti o che, comunque, possano interferire con le strutture di fondazione del deposito</b>  La prossimità di acque del sottosuolo, nelle loro variazioni di livello stagionali e non stagionali conosciute, può ridurre il grado di isolamento del deposito e favorire fenomeni di trasferimento di radionuclidi verso la biosfera. Per lo stesso motivo sono da escludere le aree con presenza di sorgenti e di opere di presa di acquedotti.
<b>CE14</b>	<b>caratterizzate dalla presenza nota di importanti risorse del sottosuolo</b>  Lo sfruttamento di risorse del sottosuolo già individuate negli strumenti di pianificazione e vincolo territoriale [idriche, energetiche (gas, petrolio o di tipo geotermico) e minerarie] può essere compromesso dalla costruzione del deposito e può determinare insediamenti futuri di attività umane, compromettendo l'isolamento del deposito stesso.

Di seguito si riporta il criterio di approfondimento indicato nella GT29 per gli aspetti idrogeologici.

<b>CA8</b>	<b>Parametri idrogeologici</b>  (a) distanza dei livelli piezometrici dal piano di campagna e dalle strutture di fondazione del deposito e loro fluttuazioni periodiche, stagionali e non stagionali; (b) distanza da sorgenti e da altri punti di captazione idrica; (c) caratteristiche di conducibilità idraulica degli acquiferi, comprendenti la quota dei tetti e dei letti degli acquiferi e degli acquicludi, la loro estensione laterale e i loro coefficienti di permeabilità e di immagazzinamento; (d) gradiente idraulico medio dell'area e velocità del flusso sotterraneo; (e) valore dell'infiltrazione efficace; (f) estensione delle superfici di ricarica degli acquiferi e loro distanza dall'area in valutazione; (g) utilizzo delle acque per usi legati all'alimentazione umana diretta o indiretta; (h) grado di complessità e possibilità di modellizzazione del sistema acquifero.
------------	---

La documentazione IAEA contenente indicazioni tecnico-operative cui far riferimento è la seguente:

- SSG-29 "Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste".
- SSG-35 "Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations".
- SSR-31 "Site Evaluation for Nuclear Installations".

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



- TECDOC-1199 “*Characterization of groundwater flow for near surface disposal facilities*”.
- SSG-31 “*Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities*”.

### **Monitoraggio**

In accordo con la Guida IAEA SSG-31 il programma di monitoraggio idrogeologico deve riguardare l'intero periodo di esistenza del Deposito, comprendendo la fase pre-operativa, operativa e post-operativa.

Sebbene la caratterizzazione delle acque sotterranee sia di primaria importanza nella fase pre-operativa per l'ubicazione e la progettazione delle opere, rimane fondamentale anche nelle successive fasi di vita del Deposito.

I programmi di monitoraggio avviati durante la fase di caratterizzazione del sito, infatti, dovranno continuare, con funzione di controllo, durante il periodo di esercizio e dopo la chiusura del Deposito. I dati raccolti durante la fase di caratterizzazione rappresenteranno le informazioni idrogeologiche e geochimiche relative alle condizioni iniziali della matrice acque sotterranee nel sito prima dell'inizio dei lavori di costruzione (*Baseline Monitoring*).

Successivamente, il programma di monitoraggio sarà finalizzato a verificare eventuali modifiche nei parametri del sistema idrogeologico e a confermare, sulla base delle reali condizioni, le ipotesi formulate per la sicurezza post-chiusura.

In ogni caso il progressivo aggiornamento della conoscenza del sistema idrogeologico sarà utile per integrare ed eventualmente modificare la pianificazione del programma di monitoraggio.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## **CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA NELLA FASE 2 GT29 - INDIVIDUAZIONE, NELLE AREE POTENZIALMENTE IDONEE DEI SITI DA SOTTOPORRE AD INDAGINI DI DETTAGLIO**

Secondo quanto indicato da ISPRA nella Guida Tecnica 29 questa fase è finalizzata ad individuare, nelle aree potenzialmente idonee, i siti da sottoporre ad indagini di dettaglio. La selezione viene effettuata sulla base di valutazione con dati a scala regionale, eventuali verifiche in campo e tenendo conto di fattori socio-economici. La fase due corrisponde all'*Area Survey Stage – site screening phase* della SSG–29 che, in accordo con quanto indicato in TECDOC-1199 *Characterization of groundwater flow for near surface disposal facilities*, per gli aspetti idrogeologici le informazioni da analizzare devono comprendere:

- identificazione della struttura geologica approssimativa e della stratigrafia;
- individuazione delle principali aree di ricarica;
- ubicazione dei punti di emergenza e di prelievo;
- principali usi attuali e potenziali delle risorse idriche;
- stima della velocità delle acque sotterranee e direttrici del flusso idrico sotterraneo.

Dalle informazioni acquisite si dovrà quindi poter definire un modello idrogeologico concettuale del territorio su cui insiste l'area potenzialmente idonea (art. 27 D.Lgs. 31/2010 e ss.mm.ii.).

In questa fase la caratterizzazione idrogeologica sarà incentrata sull'aggiornamento e integrazione del quadro conoscitivo di ogni area d'interesse, tramite raccolta di dati bibliografici (geologici, idrogeologici, geomorfologici, geofisici, geotecnici, ecc.), documentazioni tecniche, strumenti di pianificazione territoriale ed ambientale, dati attinenti agli aspetti idrogeologici registrati da Enti di competenza territoriale ed altre istituzioni, che non siano già stati analizzati nella prima fase del processo di "localizzazione".

Si verificherà, inoltre, con un livello di approfondimento maggiore rispetto a quanto effettuato per la realizzazione della CNAPI, che ogni parte di ciascuna area potenzialmente idonea soddisfi i requisiti elencati nei criteri di esclusione (CE) e si procederà ad una prima applicazione del criterio di approfondimento CA8.

Il quadro conoscitivo sarà implementato attraverso rilievi di campo che, unitamente agli studi succitati, consentirà di definire il piano iniziale di indagini nelle zone d'interesse.

Sarà quindi elaborato un modello idrogeologico prevalentemente qualitativo, necessario al fine di delimitare all'interno delle aree potenzialmente idonee i siti che potranno essere oggetto di indagini di maggiore dettaglio.

Per la pianificazione delle indagini da effettuare nelle aree d'interesse è importante considerare il tempo di vita dell'opera in relazione ai parametri che possono subire

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



variazioni significative nel tempo. In questo contesto può essere estremamente importante, infatti, inquadrare nel modello idrogeologico il potenziale impatto dei cambiamenti climatici su diversi fattori idrogeologici (livelli piezometrici, infiltrazione efficace, portate delle sorgenti, relazione tra flussi idrici superficiali e sotterranei, fluttuazioni stagionali, ecc.), anche per quanto riguarda la possibilità di una maggiore incidenza e intensità dei fenomeni meteorologici e idrologici estremi.

I parametri idrogeologici ottenuti in questa fase di indagine definiscono le condizioni iniziali (*Baseline Monitoring*) del sistema idrogeologico che dovranno essere monitorati anche nelle successive fasi del processo di caratterizzazione, così da poter valutare eventuali variazioni degli stessi. Il progressivo aggiornamento di questi fattori sarà utilizzato per integrare ed eventualmente modificare il programma di monitoraggio.

### **CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA NELLA FASE 3 GT29 - CARATTERIZZAZIONE TECNICA DI DETTAGLIO DI UNO O PIÙ SITI, IN PARTICOLARE PER QUANTO RIGUARDA IL COMPORTAMENTO NEL LUNGO TERMINE**

La fase 3 comprende i due stadi denominati “*site investigation stage*” e “*detailed site characterization stage*” della SSG-29 IAEA.

La caratterizzazione tecnica di dettaglio dovrà focalizzarsi in particolare, secondo quanto indicato nella Guida Tecnica 29 ISPRA, sulla valutazione a lungo termine dei processi idrogeologici propri del sito d’indagine e del suo intorno idrogeologicamente significativo.

Le attività di caratterizzazione avranno la finalità di consentire la realizzazione di un modello idrogeologico quantitativo tridimensionale ad elevato grado di affidabilità, adeguato per supportare le analisi di sicurezza, la progettazione della struttura, lo Studio di Impatto Ambientale.

Tale modello idrogeologico sarà realizzato in modo integrato con un modello numerico quantitativo per la simulazione, dalla scala di evento a quella secolare, dei processi idrologici e di alimentazione delle falde e dei processi idrogeologici di circolazione idrica sotterranea. L’uso dei modelli dovrà rendere quantitativa la valutazione delle interazioni tra acque superficiali e sotterranee e permettere la simulazione dell’evoluzione dei processi idrologici nel lungo periodo anche riguardo il trasporto dei radionuclidi.

Una volta indicato il sito definitivo e al termine dell’attività di caratterizzazione e modellazione per la sua qualificazione, dovrà essere predisposto il programma dettagliato di monitoraggio idrologico-idrogeologico specifico per ciascuna delle fasi di vita del Deposito (pre-costruzione, costruzione, caricamento del deposito, chiusura e controllo istituzionale).



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



In linea generale per la realizzazione del modello idrogeologico quantitativo e per una migliore comprensione della circolazione idrica delle acque sotterranee andranno approfondite ed analizzate le seguenti informazioni:

- ubicazione, estensione, geometria e tipologia degli acquiferi e dei loro eventuali rapporti;
- identificazione degli *aquiclude* e *aquitard*;
- identificazione delle aree e modalità di ricarica degli acquiferi;
- censimento dei punti d'acqua (emergenze e captazioni);
- portata e regime delle sorgenti (puntuali e lineari);
- livelli piezometrici, fluttuazioni periodiche, stagionali e non stagionali;
- soggiacenza;
- direzione di deflusso delle acque sotterranee;
- gradienti idraulici e velocità del flusso sotterraneo;
- bilancio idrogeologico;
- parametri idrogeologici degli acquiferi: porosità, permeabilità, conducibilità idraulica, trasmissività, coefficiente di immagazzinamento, diffusività, coefficiente di dispersione, ecc.;
- parametri chimici e fisici delle acque sotterranee;
- utilizzi attuali e potenziali della risorsa idrica.

Il suddetto elenco, non essendo riferito ad un contesto idrogeologico determinato, non è comunque esaustivo e dovrà essere integrato all'avvio delle attività di caratterizzazione per la qualificazione del sito indicato per la localizzazione del Deposito.

Particolare cura per la sicurezza radiologica dovrà essere dedicata alla definizione dei parametri idrodinamici e idrodispersivi degli acquiferi, possibilmente determinati con diversi approcci e tecniche per confrontare criticamente i risultati al fine di diminuire l'incertezza insita in ogni misura sperimentale e definirne i limiti di incertezza.

Il programma di monitoraggio dovrà consentire la verifica puntuale degli impatti ambientali negli stati ante-operam, in corso d'opera e post-operam, con particolare attenzione ai punti di maggiore sensibilità individuati in base all'analisi di sicurezza. L'attuazione del programma di monitoraggio per la fase di pre-costruzione avrà lo scopo di integrare, attraverso l'acquisizione sistematica e continua dei dati, la valutazione dell'idoneità del sito e la sua qualificazione. Nelle fasi successive, e in particolare dopo avere effettuato le necessarie modifiche e integrazioni di strumentazione e di variabili misurate a seguito della realizzazione delle opere, il sistema di monitoraggio dovrà permettere di affinare modello idrogeologico previsionale dei processi idrogeologici, in particolare nel lungo periodo.

La distribuzione e il numero delle indagini da eseguire saranno necessariamente funzione delle caratteristiche del sito e dalla sua complessità ed estensione. L'installazione della strumentazione per il monitoraggio nel sottosuolo, sia a monte

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



che a valle idrogeologica del sito, è opportuno che venga effettuata durante l'esecuzione del programma delle indagini geognostiche.

Tutti gli studi, le indagini *in situ* (dirette e indirette) e le analisi di laboratorio dovranno essere eseguiti nel rispetto delle norme, degli standard di riferimento, delle raccomandazioni e specifiche tecniche che SOGIN indicherà nel Piano e programma delle indagini tecniche da sottoporre all'Autorità di Controllo (ISIN), come stabilito al comma 10 dell'art. 27 del D.Lgs. 31/2010 e ss.m.ii..

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



#### 5.4 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – GEOCHIMICA

Le guide tecniche IAEA SSG-29 “Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste” e IAEA DS433\_Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations che vengono prese a riferimento per la caratterizzazione geochimica del sito del Deposito Nazionale e del suo intorno significativo, indicano che le caratteristiche geochimiche delle acque di falda, dei suoli e delle rocce del sottosuolo devono essere tali da contribuire a limitare l’eventuale rilascio di radionuclidi e che non devono essere tali da favorire significativamente l’alterazione dell’integrità nel tempo delle strutture del deposito (barriere ingegneristiche).

In accordo con la normativa internazionale la guida ISPRA GT-29 “Criteri per la localizzazione di un impianto di smaltimento superficiale di rifiuti radioattivi a bassa e media attività”, nella definizione del Criterio di Approfondimento CA9 “parametri chimici del terreno e delle acque di falda”, indica alcuni parametri (capacità di scambio ionico, sostanza organica, ossidi/idrossidi, Fe, Mn, Al) da valutare in relazione alla determinazione dell’efficacia del terreno a limitare la possibilità di trasferimento di radionuclidi nel sottosuolo e nelle acque di falda. Al tempo stesso le caratteristiche chimiche dei terreni e delle acque nel sottosuolo devono essere valutate in relazione alla potenziale influenza sulla duratura efficacia delle strutture del deposito.

##### **Obiettivi della caratterizzazione geochimica**

Le indagini geochimiche sono necessarie per la scelta del sito, per l’analisi di sicurezza, per la Valutazione di Impatto Ambientale, per la progettazione delle strutture e la pianificazione del controllo (*monitoraggio*) a breve e lungo termine, per il deposito stesso e per l’ambiente. Le indagini devono essere dimensionate in modo tale da consentire l’elaborazione di un modello geochimico quantitativo del sottosuolo a supporto delle finalità anzidette.

Le caratteristiche geochimiche di suoli e/o rocce e delle acque sotterranee (di falda, e della zona insatura) possono determinare diversi processi di interazione con eventuali radionuclidi; tali processi possono a loro volta determinare la ritenzione degli stessi in alcuni livelli e non in altri, influenzandone la diffusione nel sottosuolo e nelle acque di falda.

Il modello geochimico si realizza dalla sovrapposizione delle caratteristiche geochimiche del sottosuolo con il modello idrogeologico descritto nel precedente capitolo a cui si rimanda per i dettagli.

Scopo del modello geochimico sarà in primo luogo quello di contribuire in modo quantitativo alla valutazione della capacità di barriera del contesto geologico su cui insiste il Deposito e nel quale hanno luogo i processi rilevanti per l’eventuale trasporto dei radionuclidi immagazzinati.

Tale modello può essere sviluppato per fasi successive, a crescente livello di dettaglio e approfondimento, attraverso un programma di indagini che terrà conto del quadro conoscitivo disponibile e del livello di scala della fase di caratterizzazione.

Inizialmente lo studio geochimico e lo sviluppo del modello si baserà sull’analisi di dati bibliografici, rilievi di campo ed eventuali indagini preliminari a scala di area e/o di un intorno geologico e idrogeologico significativo per la caratterizzazione geochimica che permetterà di definire un piano di indagini per consentire

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



l'indicazione del sito definitivo e per realizzare la caratterizzazione finalizzata alla sua qualificazione. Il piano delle indagini di caratterizzazione dovrà necessariamente essere aggiornato alla conclusione della fase di indicazione del sito definitivo per effettuare l'integrazione delle indagini in relazione al maggiore dettaglio richiesto per la caratterizzazione del sito ai fini della sua qualificazione.

### **Approccio metodologico**

Per la definizione delle caratteristiche geochimiche dell'ambiente sotterraneo da sovrapporre al modello idrogeologico si farà riferimento a tutte quelle grandezze chimiche e fisiche che influenzano la migrazione dei radionuclidi nella geosfera e che descrivono l'interazione tra opere e ambiente in termini di potenziale degrado. Per la caratterizzazione geochimica si prevede di adottare una metodologia di analisi per livelli di approfondimento successivi (v. fig. 5.4.1). A tal proposito, la guida IAEA SSG-31 "Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities" evidenzia che nel periodo pre-operativo si debba realizzare il *baseline monitoring*, ovvero la determinazione di parametri strettamente legati all'idrogeologia, anche in termini di serie storiche di misure, e all'assetto geologico-stratigrafico e petrografico anche di dettaglio, con la definizione dei percorsi e delle modalità di trasporto nel flusso sotterraneo con la caratterizzazione degli orizzonti stratigrafici presenti e delle relative granulometrie (o stato di fratturazione). Tale studio dovrà tenere in considerazione anche gli orizzonti pedologici. Saranno quindi indagate le caratteristiche geochimiche dei suddetti orizzonti considerando suoli, rocce, terreni ed acque sotterranee come complessi chimico-fisici caratterizzati da fasi minerali, organiche e chimiche presenti in soluzioni o colloidali.

Nella fase 2 del processo di localizzazione indicato nella GT 29 ISPRA i dati da acquisire saranno relativi alle intere aree potenzialmente idonee e saranno sostanzialmente bibliografici e in parte provenienti da rilevamenti ed eventuali saggi e sondaggi geognostici. Successivamente, nella fase 3 si passerà alla caratterizzazione qualitativa e quantitativa delle associazioni delle fasi presenti negli orizzonti pedologici ed alla caratterizzazione geochimica degli orizzonti stratigrafici, delle acque di falda e di quelle vadose.

Le analisi (IAEA TRS-412 "Scientific and Technical Basis for the Near Surface Disposal of low and Intermediate Level Waste") dovranno indagare le caratteristiche chimico-fisiche del piano di sedime delle opere del Deposito, le caratteristiche geochimiche degli orizzonti stratigrafici del sito e del suo intorno significativo, per valutare la funzione di barriera degli stessi, ed infine le caratteristiche radiologiche e geochimiche naturali del sottosuolo per definire il "bianco" o "punto zero" di riferimento per le fasi successive della realizzazione delle opere e per le fasi di monitoraggio. I dati saranno integrati in modelli geochimici via via più complessi in relazione al progredire dell'acquisizione dei dati.

In tutte le fasi di indagine, la modellazione geochimica deve integrarsi – sia per quanto riguarda la programmazione delle indagini che per quanto attiene alla modellazione di sito – con gli studi relativi agli aspetti geologici, idrogeologici, idrologici e meteo-climatici (vedi oltre).

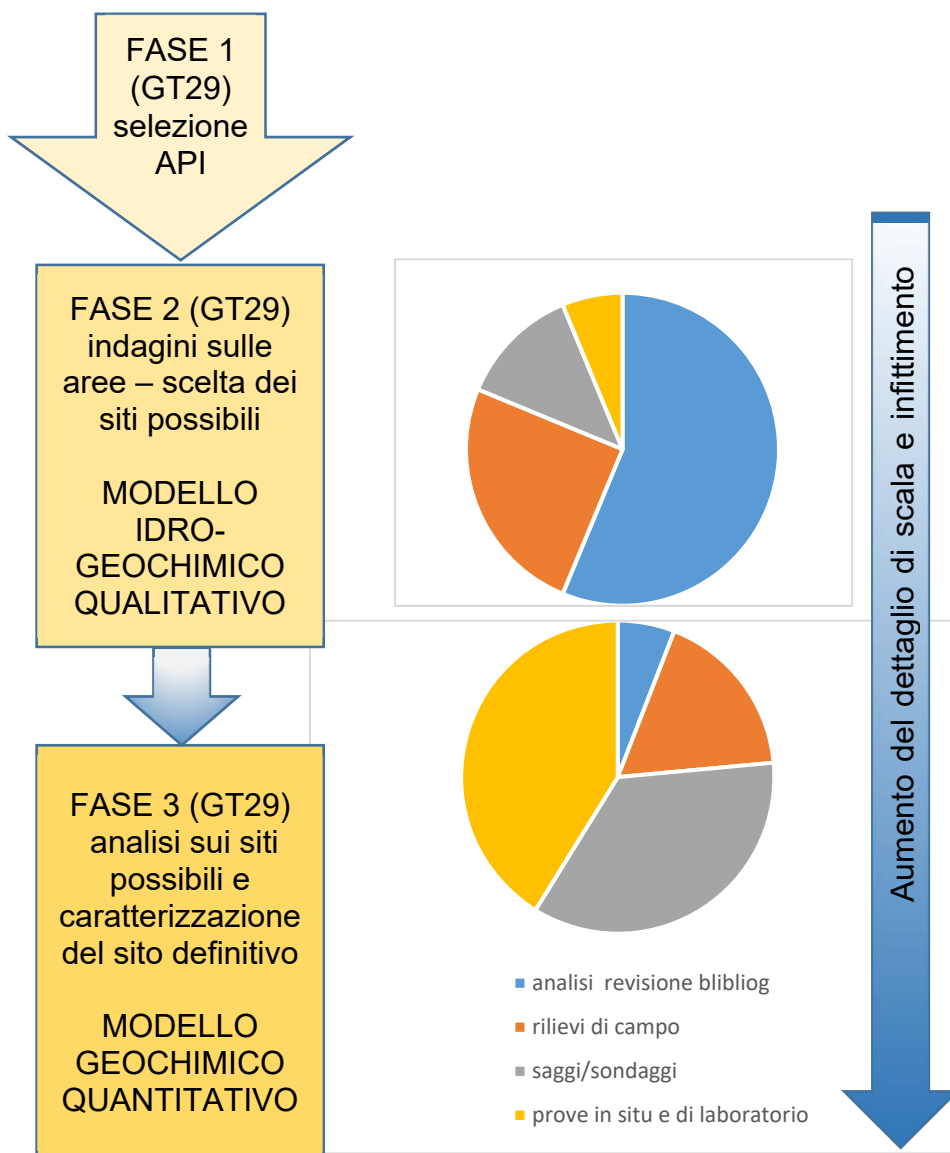


Figura 5.4.1 - Fasi di elaborazione del processo di caratterizzazione e ripartizione dell'entità delle indagini.

## CARATTERIZZAZIONE GEOCHIMICA DELLA FASE 2 GT29 - INDIVIDUAZIONE, NELLE AREE POTENZIALMENTE IDONEE DEI SITI DA SOTTOPORRE AD INDAGINI DI DETTAGLIO

In questa fase, la caratterizzazione geochimica delle aree potenzialmente idonee, è finalizzata all'individuazione dei siti da sottoporre a indagini di dettaglio in accordo con i criteri indicati nella GT 29 ISPRA.

La metodologia prevista per questa fase consiste sostanzialmente nell'approntamento di un modello geochimico qualitativo preliminare a scala di area

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



sulla base dell'analisi dei dati bibliografici, preferibilmente di elevato dettaglio, e l'esecuzione di verifiche di campo eventualmente supportate da saggi, sondaggi geognostici e determinazioni geochimiche. Tali azioni saranno in stretta relazione con quelle previste per la caratterizzazione degli ambiti di "geologia-geotecnica", "geomorfologia" e "idrogeologia" ed interesseranno un intorno significativo dell'area di ampiezza adeguata alla definizione dei processi geochimici rilevanti.

La caratterizzazione chimico-fisica del sottosuolo sarà effettuata all'interno dei siti possibili, mentre, per l'individuazione e lo studio dei possibili ricettori ambientali (falde di importanza regionale, corsi d'acqua, ecc.) l'areale di studio può estendersi anche ben al di fuori delle aree oggetto d'intesa.

Gli elementi chiave per la caratterizzazione geochimica saranno i parametri definiti nei criteri CA9 e CE9 della GT 29, ovvero quelli che influenzano il potenziale trasferimento di eventuali radionuclidi verso la biosfera con particolare riferimento alle catene alimentari. Inoltre saranno valutati quei parametri che determinano le caratteristiche di aggressività dei terreni e delle acque in essi circolanti nei confronti delle strutture del deposito o, in generale, che siano tali da determinare condizioni ambientali che possano comprometterne la funzionalità nel tempo.

In generale, rispetto alle caratteristiche geochimiche sono preferibili settori di territorio caratterizzati da valori di soggiacenza della falda elevati, dalla presenza di elevati spessori di depositi/rocce che garantiscano basse velocità di flusso idrico sotterraneo sia nella porzione insatura che in quella satura e caratterizzati dalla presenza di una componente argillosa che favorisca lo scambio ionico.

Sulla base di tali considerazioni gli elementi da investigare nella fase 2 della localizzazione saranno sostanzialmente di tipo geologico-stratigrafico ed idrogeologico, adeguatamente valutati analiticamente dal punto di vista geochimico (valori di pH, Eh, salinità delle acque di falda, concentrazioni di ioni solfato, cloruro, presenza di gas come anidride carbonica e idrogeno solforato, ecc.).

### **CARATTERIZZAZIONE GEOCHIMICA DELLA FASE 3 GT29 - CARATTERIZZAZIONE TECNICA DI DETTAGLIO DI UNO O PIÙ SITI, IN PARTICOLARE PER QUANTO RIGUARDA IL COMPORTAMENTO NEL LUNGO TERMINE**

Obiettivo di tale fase sarà la caratterizzazione in dettaglio del sito definitivo ai fini della sua qualificazione.

La caratterizzazione, oltre a contribuire all'analisi di sicurezza e alla definizione del progetto definitivo del Deposito Nazionale, fornirà elementi necessari allo studio di impatto ambientale e alla pianificazione del monitoraggio relativo alle fasi di cantiere e alle prime fasi di esercizio.

In questa fase si realizza l'*upgrading* del modello geochimico da un livello prevalentemente qualitativo, definito nella fase precedente, ad uno quantitativo strettamente connesso con i modelli geologico ed idrogeologico che allo stesso tempo saranno stati perfezionati. Le indagini tecniche di carattere geochimico saranno condotte sia in sito che in laboratorio. Tali indagini richiederanno analisi chimiche, mineralogiche e petrografiche e verranno condotte per la determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche degli orizzonti individuati negli ambiti geologico



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



ed idrogeologico del sito e del suo intorno significativo, per la definizione delle principali “fasi geochimiche” caratterizzanti il sottosuolo a scala locale.

A tal proposito (IAEA TRS-412 “Scientific and Technical Basis for the Near Surface Disposal of low and Intermediate Level Waste”) è da dare rilievo al fatto che le caratteristiche chimiche naturali del suolo e del sottosuolo del sito e del suo intorno devono essere tenute in particolare conto per definirne le proprietà di barriera naturale e le potenzialità di interferenza sui materiali delle barriere artificiali a scala secolare.

Allo stesso tempo, nel modello geochimico di dettaglio, dovranno essere ben caratterizzate le acque sotterranee al fine di fornire gli elementi utili alla valutazione, dei processi idrogeologici e dei fenomeni di interazione delle acque con le matrici solide in cui circolano. (IAEA-TECDOC-1380 “Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near surface disposal facilities” e IAEA-ISAM “Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, Results of a Coordinated Research Project”).

Per la caratterizzazione geochimica a fini radioecologici è opportuno sviluppare in parallelo due tipologie di modellazione:

**MODELLO ANALOGICO**: si definisce sulla base dello studio delle concentrazioni nelle acque di falda, anche a livelli di traccia e sotto-traccia, di elementi chimicamente affini ai radionuclidi d’interesse. Ciò perché la concentrazione e la mobilità degli elementi sono governate da pH, potenziale redox, e in generale, dalle caratteristiche chimico-fisiche e di composizione delle acque di falda a loro volta condizionate dall’interazione con le rocce in cui circolano. Gli attuali strumenti di analisi sono sufficientemente accurati e sensibili da indagare concentrazioni naturali di elementi e radionuclidi in traccia e sub-traccia con concentrazioni paragonabili a quelle determinate da una contaminazione seppur minima delle acque di falda.

**MODELLO PARAMETRICO**: un modello parametrico deriva dalla definizione delle grandezze chimico-fisiche che caratterizzano il sottosuolo in particolare con l’uso di appropriate piattaforme di calcolo. Dovranno essere indagati i processi di interazione gas-liquido, liquido-solido e adsorbimento-desorbimento (rilascio). In particolare si farà riferimento alla presenza di ossigeno, azoto ed anidride carbonica, anche quando controllati da processi microbiologici; mentre, nei processi liquido-solido, saranno analizzate in particolare le caratteristiche mineralogico-geochimiche dei minerali secondari di riempimento di pori e fratture ed in particolare ossidi di ferro e minerali argillosi. A titolo esemplificativo ma non esaustivo i parametri geochimici da considerare nello sviluppo del modello geochimico potranno essere (IAEA TRS-412 “Scientific and Technical Basis for the Near Surface Disposal of low and Intermediate Level Waste”):

**Variabili**: pH, Eh, T

**Elementi componenti principali**: Na, K, Ca, Mg,  $\text{HCO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Cl<sup>-</sup>, Si, TDS

**Elementi in traccia**: Fe, Mn, U, Th, Ra, Al, Li, Cs, Sr, Ba, HS<sup>-</sup>, I, Br, F, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, HPO<sub>4</sub>, REE, Cu, Zn

**Gas disciolti**: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>, Ar, He

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Isotopi stabili:  $^2\text{H}$  in  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$  in  $\text{H}_2\text{O}$ , e  $\text{SO}_4$ ,  $^{13}\text{C}$  in composti carbonici disciolti inorganici (DIC) ed organici (DOC),  $^{34}\text{S}$  in  $\text{SO}_4$  ed  $\text{HS}$ ,  $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $\text{Xe}$  e  $\text{Kr}$  (isotopi)

Isotopi radioattivi:  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  in DIC e DOC,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$

Composti organici: acido umico, acido fulvico, colloidali, carica batterica.

In minerali di riempimento di pori e fratture:  $^{18}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ ,  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ , mineralogia, tessitura, caratteristiche di adsorbimento.

Il confronto tra modello analogico e parametrico potrà fornire indicazioni sul grado di affidabilità del modello parametrico permettendone il controllo e l'affinamento.

Tale modello dovrà tenere conto per quanto possibile anche dell'evoluzione nel tempo dei processi e quindi dei parametri che li caratterizzano, sia in relazione ai cambiamenti naturali possibili su scala temporale secolare sia in relazione a cambiamenti correlati con la realizzazione delle opere del Deposito.

Per quanto riguarda l'estensione dell'*intorno significativo* da indagare, si ribadisce che questa può variare in relazione alla distanza dei ricettori ambientali individuati dall'analisi idrogeologica.

Per ottenere la densità analitica necessaria ai fini della caratterizzazione geochimica di dettaglio dovrà essere definita una rete di punti di misura/prelievo (che potrà prevedere opportuni sondaggi geognostici e punti di misura/prelievo delle acque in superficie e nel sottosuolo) progettata in aderenza alla possibilità di definire dettagliatamente percorsi, tempi e concentrazioni nei processi di flusso e trasporto dei radionuclidi nell'ambiente.

I parametri chimico-fisici e geochimici da analizzare con continuità nel tempo dovranno essere adeguati per realizzare il modello geochimico "dinamico" oltre che a definire le caratteristiche naturali *ante operam* e a poter definire il piano di monitoraggio nelle fasi di costruzione, esercizio e di chiusura.

In linea generale il monitoraggio dovrà:

- stabilire i livelli preesistenti di contaminanti e simulare come essi varieranno in funzione dell'inserimento dell'opera e dei vari scenari climatici e progettuali individuati per l'analisi di sicurezza;
- documentare l'evoluzione dell'ambiente geochimico (in tutte le sue componenti), rispetto allo stato *ante-operam* al fine di verificare che la dinamica dei fenomeni ambientali sia coerente rispetto alle previsioni;
- verificare l'effettivo eventuale impatto indotto dalla presenza del Deposito;
- rilevare tempestivamente condizioni impreviste per potere intervenire con adeguati provvedimenti.

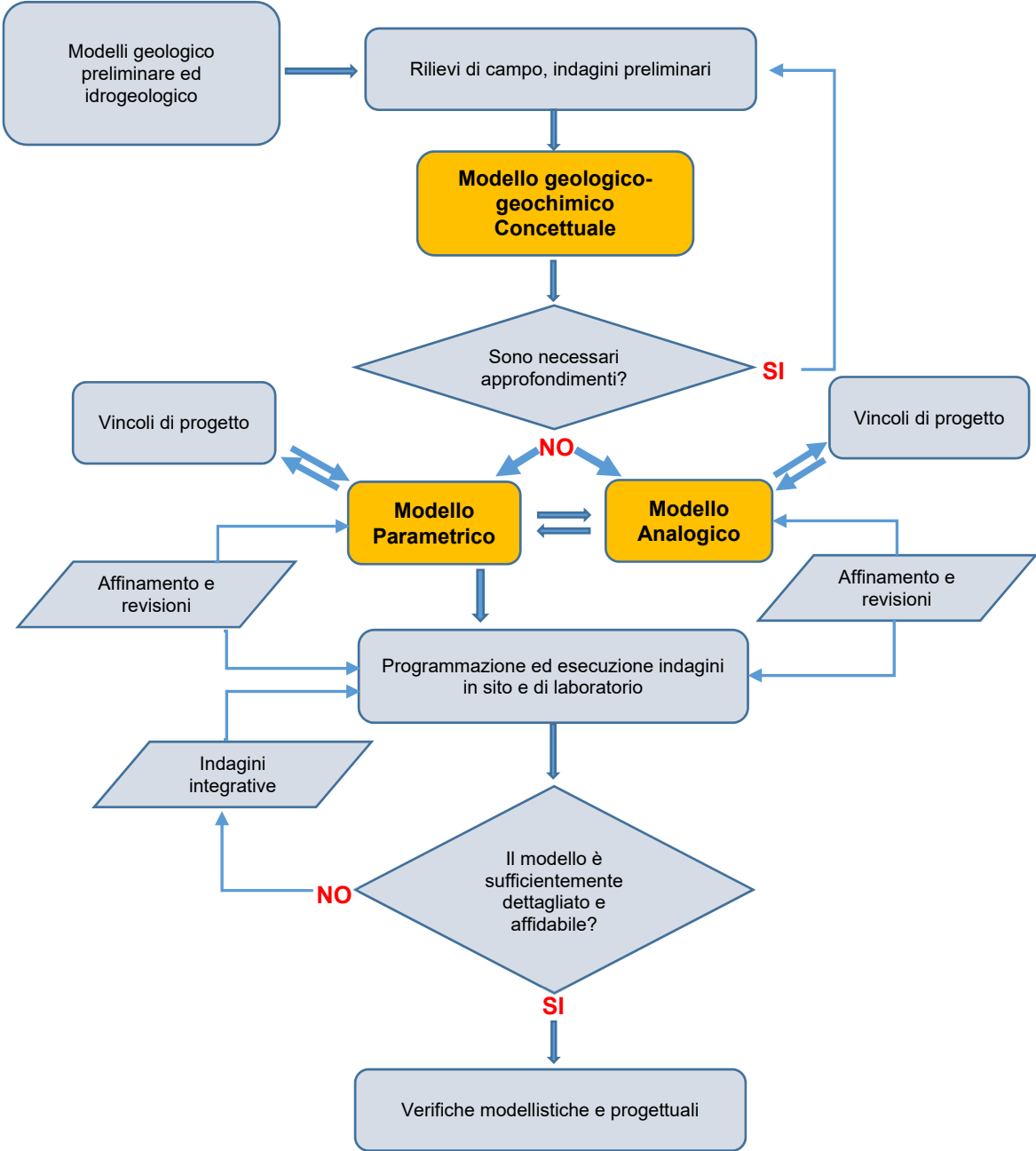


Figura 5.5 - Processo di elaborazione del Modello geochimico.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 5.5 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – FAGLIAZIONE SUPERFICIALE

La pericolosità da fagliazione superficiale del suolo, causata da eventi sismici o movimenti crostali lenti, è un fattore fortemente limitante l'idoneità delle aree rispetto ad un requisito di sicurezza primario sia nel periodo di caricamento del deposito e quindi durante la sua attività, che nei secoli successivi di controllo istituzionale del sito.

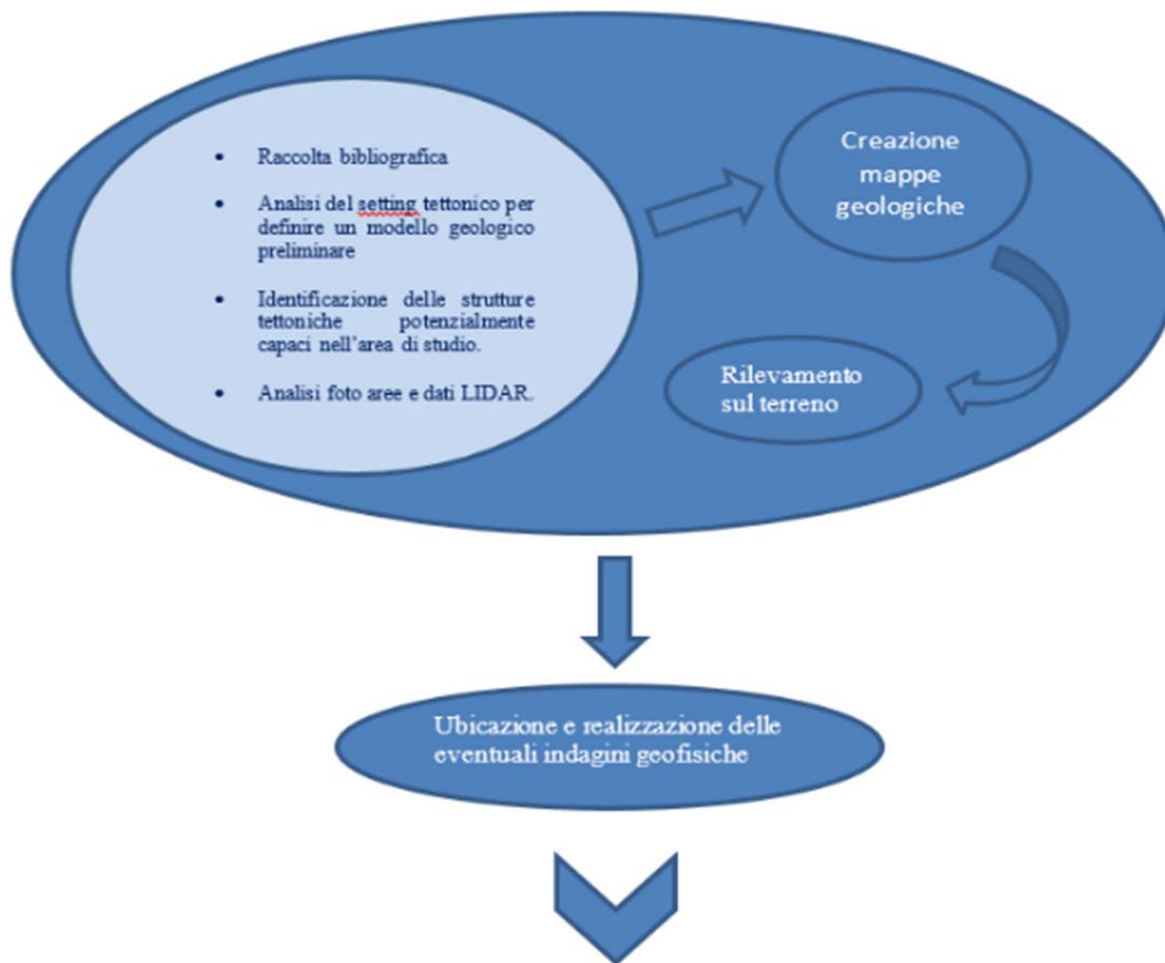
La fagliazione superficiale è, nello specifico, la dislocazione in corrispondenza, ovvero in prossimità, della superficie topografica che deriva, per via diretta o indiretta, da movimenti tettonici lungo una faglia, accompagnati o meno da forti rilasci di energia sismica.

Di conseguenza, fagliazione superficiale o dislocazioni permanenti del suolo non sono necessariamente connesse al verificarsi di un evento sismico, ma possono avvenire anche in relazione a movimenti crostali lenti o ad altre tipologie di fenomeni naturali, correlabili ad esempio a processi vulcanici o alla presenza di gradienti geotermici anomali, o antropici (estrazioni di fluidi dal sottosuolo), movimenti gravitativi profondi, dissoluzione di formazioni saline, ecc.

L'analisi integrata del complesso dei dati raccolti è quindi, finalizzata all'elaborazione di uno schema interpretativo del territorio che consenta di inserire in un unico quadro conoscitivo tutti gli elementi geologici, geognostici e geotecnici di interesse. Questo quadro costituisce il modello geologico e geotecnico di riferimento (par. 5.2), in grado di descrivere in modo adeguato la struttura dell'area di progetto con riferimento specifico alle condizioni al contorno di interesse per il mantenimento in sicurezza delle infrastrutture che potrebbero essere realizzate in tale territorio. Questi obiettivi vengono perseguiti mediante varie tipologie di indagine a dettaglio crescente, afferenti a numerose discipline delle Scienze della Terra, tra cui la stratigrafia, la geologia strutturale, la geomorfologia e la paleosismologia.

È evidente pertanto che in tutte le fasi di indagine, l'ambito fagliazione deve integrarsi – sia per quanto riguarda la programmazione delle indagini che per quanto attiene alla modellazione di sito – con gli studi relativi agli aspetti geologici, geomorfologici e soprattutto sismici (vedi oltre).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



**Definizioni del modello geologico di riferimento e del modello sismotettonico**

Figura 5.6 – Processo di definizione del modello geologico di riferimento e del modello sismotettonico.

Il criterio ISPRA della Guida Tecnica 29 riguardo il fenomeno della fagliazione è il CE3 che indica come aree da escludere quelle interessate da fenomeni di fagliazione superficiale.

Per l'applicazione e lo studio del criterio CE3 relativo alla fagliazione superficiale i dati di partenza sono stati ricavati, come indicato nella guida 29, nel catalogo ITHACA redatto da ISPRA e nel database INGV DISS.

Il database DISS raccoglie i dati relativi alle potenziali sorgenti sismogenetiche in grado di generare terremoti di  $M_w > 5.5$  mentre il catalogo ITHACA raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo alle faglie *capaci* del territorio nazionale ossia strutture in grado di provocare fagliazione superficiale.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



**Guide IAEA:**

- IAEA (2014), Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, SSG-29.
- IAEA (2010), Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, SSG-9.
- IAEA (2015) *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations*, SSG-35
- IAEA (International Atomic Energy Agency) (2015) - *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations*, Specific Safety Guide No. SSG-35

**CARATTERIZZAZIONE RELATIVA AI FENOMENI DI FAGLIAZIONE SUPERFICIALE NELLA FASE 2 GT29 - INDIVIDUAZIONE, NELLE AREE POTENZIALMENTE IDONEE DEI SITI DA SOTTOPORRE AD INDAGINI DI DETTAGLIO**

In questa fase l'obiettivo è l'identificazione delle eventuali faglie *capaci* basata sull'acquisizione di un insieme di completo e coerente di dati geologici e geofisici, raccolti mediante ricerche bibliografiche ed indagini e rilevamenti di campo a scala dettagliata. Per studiare e valutare al meglio il fenomeno della fagliazione superficiale si devono valutare numerosi fattori mediante un approccio multidisciplinare.

Le scale di riferimento per le analisi e indagini da eseguire sono diverse, la guida IAEA SSG-9 suggerisce questo tipo di approccio:

Lo studio del sito deve procedere seguendo una scala d'investigazione: *Regional, Near regional, Site vicinity*. Partendo dalla prima, la scala viene progressivamente ridotta e di conseguenza anche le informazioni risulteranno maggiormente dettagliate e via via più specifiche nella valutazione del pericolo derivante da fagliazione.

*Scala regionale: entro 300 Km dal sito, scala delle mappe 1:500.000.*

L'obiettivo di uno studio regionale è quello di ottenere una conoscenza generale della struttura geodinamica della regione e di identificare e caratterizzare quelle forme che possono essere correlate al pericolo di fagliazione del sito. Tra le strutture da considerare, le più importanti sono quelle che potenzialmente possono generare dislocazioni o deformazioni in superficie, ossia strutture potenzialmente *capaci*.

A questa scala si lavora principalmente compiendo approfondite ricerche bibliografiche, al fine di identificare e caratterizzare le strutture geologiche che possono influenzare il rischio sismico al sito.

Le informazioni possono essere ottenute da ogni tipo di studio geologico e geofisico preesistente (ad esempio, studi per la realizzazione di gallerie e strade) nel caso in cui le informazioni non fossero adeguate è necessario acquisire nuovi dati geologici e geofisici.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



*Scala near regional: entro 25 Km dal sito, scala delle mappe 1:50.000*

Un'area di queste dimensioni riflette in maniera opportuna le condizioni locali. Gli obiettivi di queste analisi sono:

- definire le caratteristiche sismotettoniche sulla base di dati molto più dettagliati di quelli usati per lo studio regionale.
- determinare il movimento più recente delle faglie e, per le faglie *capaci*, determinare l'ammontare della dislocazione e il tasso di attività.

Anche nella scala *near regional* è necessario integrare le informazioni derivate dalla bibliografia, con specifiche investigazioni che includono lo studio della stratigrafia, della geologia strutturale e la storia tettonica della *near region*. In particolare la storia tettonica deve essere bene definita al fine di avere un'idea del regime tettonico corrente nell'area.

*Scala site vicinity: fino a 5Km di distanza dal sito, scala delle mappe 1:5.000*

L'area di studio viene ulteriormente ristretta. Devono essere trascritte sulla mappa tutte le faglie *capaci* e individuate tutte le zone caratterizzate da instabilità geologica.

A titolo esemplificativo, alcune delle attività che possono essere svolte in quest'area sono:

- mappatura geomorfologica-geologica
- trincee
- sondaggi geognostici a carotaggio continuo

*Scala site area: solitamente 1Km<sup>2</sup>*

La zona di interesse è quella che verrà poi pressoché interamente occupata dall'impianto. Questo livello di studio è il più dettagliato e perciò vengono effettuati studi geofisici e geotecnici affiancandovi prove di laboratorio. Questo grado d'indagine deve fornire con precisione l'entità della potenziale fagliazione superficiale e tutte le caratteristiche tecniche dei terreni sotto il sito.

Di seguito vengono riportati i principali ambiti di approfondimento cui si deve far riferimento, nell'ambito delle indagini relative ai fenomeni di fagliazione superficiale, in questa fase del processo di caratterizzazione

Ambito	<i>Bibliografia</i>
Elaborazioni	Raccolta e analisi bibliografica allo scopo di ricercare i dati disponibili dell'area di studio (carte geologiche, dati geotecnici, stratigrafie, dati idrogeologici...)
Prodotti	Sintesi geodinamica
Scala di riferimento	<i>Scala Regional</i>

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Ambito	<i>Analisi del setting tettonico</i>
Elaborazioni	<p>Analisi del <i>setting</i> tettonico per definire un modello geologico preliminare (considerando anche dati derivanti da velocità di movimento GPS, stress differenziali, indagine paleosismologiche), che rappresenti i caratteri essenziali del paesaggio durante il Quaternario e in particolare durante l'Olocene.</p> <p>L'analisi tettonica dovrebbe includere anche lo studio dell'evoluzione tettonica della regione con particolare attenzione all'età e alla natura delle deformazioni nell'attuale <i>setting</i> tettonico.</p>
Prodotti	Sintesi Morfotettonica
Scala di riferimento	Scala <i>near regional</i>

Ambito	<i>Mappatura geologica dettagliata</i>
Elaborazioni	<p>La mappatura geologica di dettaglio deve essere sviluppata in particolar modo dove non sono disponibili dati utili alla localizzazione di tracce di faglie primarie e secondarie che potrebbero costituire un pericolo di fagliazione superficiale e/o scuotimento sismico.</p> <p>Le carte devono includere i risultati delle interpretazioni aerofotogrammetriche e LIDAR nonché i rilievi di campagna; molta attenzione deve essere posta nella mappatura del Quaternario in particolare nella rappresentazione degli eventi deposizionali e di erosione che evidenziano la localizzazione e le caratteristiche degli elementi tettonici eventualmente presenti nonché la cronologia dell'attività tettonica nell'area. Stratigrafia e caratteristiche strutturali dovrebbero essere raffigurate su una carta geologica e con una o più sezioni a scala appropriata.</p> <p>All'interno della mappa devono essere riportate le localizzazioni delle indagini di dettaglio come trincee e linee sismiche.</p>
Prodotti	Sintesi geologica
Scala di riferimento	Scala <i>near regional, site vicinity</i>

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Ambito	<i>Analisi geomorfologica dettagliata</i>
Elaborazioni	<p>Oltre a essere uno strumento valido per identificare e mappare le faglie con attività Quaternaria, le analisi geomorfologiche dovrebbero essere usate per studiare i terremoti passati e il comportamento delle eventuali faglie presenti mediante rilievi in campagna, interpretazione di foto aeree, LIDAR a risoluzione submetrica, DEM.</p> <p>Il reticolo idrografico, i terrazzi fluviali e marini, le morene glaciali, ecc. sono tutti elementi geomorfologici che devono essere valutati per evidenziare l'eventuale attività delle faglie allo scopo di stimarne l'età e l'entità dello spostamento possibile durante un evento sismico. Lo scopo principale è quello di individuare movimenti nel contesto tettonico attuale con particolare attenzione al Quaternario.</p>
Prodotti	Sintesi geomorfologica
Scala di riferimento	Scala <i>near regional</i> , site vicinity

Ambito	<i>Analisi del sottosuolo - Indagini</i>
Elaborazioni	<p>Le indagini geofisiche hanno due scopi principali: la ricostruzione della geometria delle unità oggetto d'indagine e la definizione degli spessori delle coperture e delle principali unità litotecniche.</p> <p>Queste indagini possono fornire informazioni rilevanti sulla posizione e sulle caratteristiche delle eventuali faglie presenti nell'area di studio permettendo così di valutare il potenziale di rottura di superficie.</p> <p>Indagini geofisiche quali sismica a riflessione ad alta risoluzione, sismica a rifrazione, geoelettrica, ecc., permettono di individuare le caratteristiche preliminari delle faglie e pieghe. Queste indagini sono fondamentali per individuare i luoghi di maggior interesse per effettuare indagini dirette come trincee e sondaggi geognostici.</p> <p>Lo scavo di trincee esplorative, unitamente a datazioni dei depositi, può essere utilizzato per studi di tipo paleosimologico (ad es. TEC DOC n 1767.) consentendo la valutazione dell'eventuale grado di attività delle faglie.</p>
Prodotti	Dati geofisici
Scala di riferimento	Scala <i>near regional</i> , site vicinity

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Ambito	Dati sismici
Elaborazioni	<p>I dati sulla sismicità a livello regionale devono essere raccolti e analizzati. I cataloghi sismici devono includere i dati dei terremoti storici (ossia preinstrumentali) e strumentali.</p> <p>I terremoti storici più significativi devono essere descritti. I meccanismi focali dei terremoti dovrebbero essere raccolti dalle fonti disponibili per meglio comprendere il <i>setting</i> tettonico della regione di studio.</p>
Prodotti	Sintesi sismotettonica
Scala di riferimento	<i>Regional, Near Regional</i>

In sintesi per quanto riguarda la fase 2 del processo di caratterizzazione la guida SSG 35 indica che uno studio approfondito andrebbe fatto sulle eventuali faglie capaci nel raggio di 5 km combinando gli studi già esistenti con indagini morfotettoniche, rilievi geologici, indagini geofisiche e altre indagini che servano a migliorare la comprensione del fenomeno di fagliazione superficiale. L'obiettivo finale è quindi la creazione della mappa neotettonica di sintesi e del modello di paesaggio sismico di riferimento dell'area di studio ossia l'insieme delle evidenze geomorfologiche e stratigrafiche causate da terremoti passati in un finestra temporale recente.

### **CARATTERIZZAZIONE RELATIVA AI FENOMENI DI FAGLIAZIONE SUPERFICIALE NELLA FASE 3 GT29 – CARATTERIZZAZIONE TECNICA DI DETTAGLIO DI UNO O PIÙ SITI, IN PARTICOLARE PER QUANTO RIGUARDA IL COMPORTAMENTO NEL LUNGO TERMINE**

Nella caratterizzazione tecnica di dettaglio di uno o più siti le scale di riferimento sono **Site Vicinity** e **Site Area**, la zona di interesse è quella che verrà poi interamente occupata dall'impianto. Questo livello di studio è il più dettagliato e perciò vengono effettuati studi geofisici e geotecnici affiancandovi prove di laboratorio e datazioni. Questo grado d'indagine deve fornire con precisione l'entità della potenziale fagliazione superficiale e tutte le caratteristiche tecniche dei terreni al sito.

Qualsiasi faglia che, se attiva, potrebbe rappresentare un rischio sia per deformazione superficiale sia per scuotimento dovrà essere valutata nel dettaglio.

Faglie che si sono mosse e strutture geologiche che hanno deformato la superficie durante il quaternario devono essere considerate potenzialmente attive e per questo motivo si deve valutare il grado di attività e il tasso di movimento per capire se e come queste strutture interagiscono con il sito.

Faglie e pieghe dell'area indagata dovrebbero essere valutate nel contesto del loro sviluppo strutturale con primaria attenzione alla loro evoluzione terziaria-quaternaria

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



in relazione al regime tettonico contemporaneo al fine di valutare il reale pericolo di fagliazione superficiale all'interno del sito che ospiterà il Deposito Nazionale. I fattori da indagare per ridurre le incertezze nella caratterizzazione delle sorgenti di faglia sono i seguenti:

<b>Dati di base</b>	<b>Metodi di indagine raccomandati</b>
Localizzazione della faglia	Tracce di eventuali faglie con attività quaternaria devono essere localizzate e ben definite su una carta di sufficiente dettaglio (maggiore rispetto alla FASE 2) per determinare la distanza della struttura dal sito.
Attività della faglia	Il grado di attività deve essere valutato per ogni faglia potenzialmente significativa per il sito. Evidenze geologiche, sismologiche, geodetiche e geomorfologiche possono essere usate per dimostrare l'attività della faglia. Tuttavia, solo evidenze geologiche possono essere usate per dimostrare l'inattività della faglia.
Geometria della Faglia	Devono essere valutati i parametri geometrici della faglia: <ul style="list-style-type: none"> <li>• orientazione (<i>strike</i>)</li> <li>• pendenza del piano di faglia (<i>dip</i>)</li> <li>• direzione del movimento della faglia (<i>slip</i>)</li> </ul>
<i>Slip rate</i>	Per valutare il tasso di movimento nel Quaternario, i fattori da considerare sono i seguenti: <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Evidenze geologiche e storiche riguardanti attività quaternaria di faglie</li> <li>b) Dati sismici strumentali e prestrumentali</li> <li>c) Relazioni strutturali che possano indicare collegamenti cinematici a una faglia quaternaria conosciuta</li> <li>d) Setting tettonico regionale</li> </ol>
Tipologia di faglia	Devono essere valutate le componenti orizzontali e verticali e la geometria della faglia per ben interpretare lo stile della faglia. Per casi in cui una faglia ha sperimentato movimenti in più di una direzione durante la sua storia, l'attenzione dovrebbe essere concentrata sul regime tettonico corrente.
Faglie sepolte	Devono essere valutate mediante indagini del sottosuolo (dati di simica a riflessione, trincee, ecc.), inoltre vanno valutate anche le evidenze geomorfologiche come deformazioni di depositi recenti mediante misure geodetiche, GPS, interferometria, studi sismici.
Lunghezza e segmentazione faglia	Le zone di faglia di solito sono costituite da segmenti di faglia. La segmentazione della faglia costituisce un mezzo per stimare la lunghezza attesa in caso di rottura. Dovranno essere valutate la lunghezza totale della faglia, l'ubicazione dei segmenti e le loro estremità.

Uno degli aspetti fondamentali nella definizione dell'attività\ non-attività di una struttura, nel quadro della fagliazione superficiale, è l'arco temporale da considerare

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



e studiare per la definizione del *range* temporale all'interno del quale sia possibile risalire al reale grado di attività delle faglie nei diversi domini tettonici.

La letteratura internazionale sull'argomento identifica due aspetti principali che condizionano la scelta del *range* temporale da considerare e sono:

- l'attuale regime tettonico in atto (contesto geodinamico)
- limiti nella metodologia di indagini

Tra i limiti operativi più ricorrenti che condizionano la definizione del *range temporale* cui riferire l'analisi dell'attività delle faglie, si segnalano: l'assenza di forme e sedimenti che possano "registrare" l'attività/non attività di una faglia; la scarsa disponibilità di datazioni e/o limiti dei metodi di datazione; la scarsa disponibilità, chiarezza o capacità risolutiva di dati provenienti da indagini del sottosuolo (geofisica).

Come riportato nella SSG-9, un'altra tipologia di valutazione della fagliazione superficiale da affiancare ai metodi diretti riguarda l'analisi probabilistica, soprattutto nel caso in cui non ci siano basi sufficienti per definire una faglia sicuramente *non capace*. In questo caso, utilizzando tutti i dati disponibili, dovrebbero essere utilizzati i metodi probabilistici simili a quelli utilizzati per la valutazione del pericolo di scuotimento al suolo.

Il processo di valutazione probabilistica della pericolosità associata alla fagliazione superficiale porta a risultati che normalmente vengono rappresentati come curve di pericolosità, nelle quali vengono messi in relazione la probabilità di eccedenza annuale (asse delle ordinate) di un dato valore di dislocazione e il valore di dislocazione stesso che viene riportato sull'asse delle ascisse (vedi ad es. Youngs et al., 2004). L'analisi probabilistica del rischio da fagliazione superficiale (PFDHA, *Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis*) in sostanza descrive l'attenuazione del movimento con la distanza dalla sorgente sismica mediante la definizione di funzioni di attenuazione. Il risultato viene espresso come il tasso al quale la dislocazione  $D$  su una struttura supera una specificata quantità  $d$ , durante un singolo evento e può essere potenzialmente applicata anche per una valutazione preliminare della probabilità di avere dislocazione cosismica secondaria al sito (vedi ad es. Petersen et al., 2011).

### **Gerarchizzazione Faglie**

Negli ultimi anni diversi autori hanno affrontato il tema della gerarchizzazione delle faglie attive, ovvero della possibile riattivazione di faglie secondarie per *sympathetic slip*; a tal riguardo si vedano ad esempio Bonini et al. (2014) e Gurpinar et al. (2017) per il terremoto dell'Aquila del 6 aprile 2009 (Mw 6.3). Lo sviluppo di questo tema è centrale nella previsione di quali faglie potranno mostrare dislocazione in superficie come effetto del movimento su una faglia più profonda, eventualmente anche cieca o comunque avente geometria tale per cui l'espressione primaria cade a distanza di sicurezza dalla eventuale infrastruttura che si intende proteggere.

A tale riguardo Livio et al. (2017), suggerisce l'integrazione delle funzioni di probabilità esistenti per il PFDHA con osservazioni e vincoli provenienti da modelli geologici, poiché i database usati spesso appaiono poco popolati e carenti.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Per ridurre questa problematica è necessaria una raccolta integrata di dati tra prove sul campo e telerilevamento (ad es. Insar), nonché modelli digitali del terreno ad alta risoluzione (LIDAR) risultano ad oggi i migliori strumenti per lo studio di dettaglio della fagliazione distribuita.

Questo tipo di approccio, ossia l'affiancamento, ai metodi di indagine classica, dei dati di telerilevamento utili nell'inquadrare meglio l'area di deformazione potrebbe aiutare a colmare il divario dell'attuale comprensione degli effetti superficiali dei terremoti e di conseguenza del processo di terremoto stesso (Livio et al., 2017).

### **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Il rapporto finale delle attività svolte dovrà illustrare il quadro geologico e sismotettonico dell'area, le risultanze degli studi di dettaglio (geomorfologici, paleosismologici e geofisici), corredati dai *logs* e dalle descrizioni delle trincee, immagini, tabelle relative alle datazioni (metodi, sigma, laboratori) e da una cartografia alla scala minima di 1:5000 con indicata la traccia di ogni faglia e le relative zone di rispetto (*setbacks*). I risultati delle indagini per la caratterizzazione del sito devono fornire la documentazione relativa alla presenza o assenza di fagliazione superficiale nell'area di studio.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 5.6 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – SISMICITA'

La stima della pericolosità sismica cui è esposto un territorio richiede un approccio multidisciplinare, spesso connesso ad altri ambiti di caratterizzazione.

Con il termine *pericolosità sismica* si definisce la probabilità che, in una determinata area ed in un determinato periodo di tempo, si verifichi un evento sismico dannoso con l'insieme degli effetti geologici e geofisici ad esso connessi.

Generalmente si può distinguere la pericolosità sismica in pericolosità diretta ed indotta.

Col termine pericolosità diretta si intende lo scuotimento del terreno indotto dall'arrivo delle onde sismiche generate in seguito ad un evento sismico (rottura e spostamento di masse rocciose), nonché eventualmente la probabilità che un simile evento possa verificarsi in una certa area in un determinato periodo di tempo. Per pericolosità indotta si intende invece l'insieme di tutti gli eventi naturali che possono essere innescati per effetto di una scossa sismica, come ad esempio tsunami, frane, fenomeni di liquefazione o costipamento dei terreni, ecc.

In generale la valutazione della pericolosità sismica di un'area si basa fondamentalmente su tre elementi:

- l'individuazione e la caratterizzazione delle strutture sismogenetiche in grado di provocare apprezzabili effetti (diretti e/o indotti) nell'area; di tali strutture dovranno essere determinate le geometrie, la cinematica, le energie potenzialmente rilasciabili;
- la valutazione degli effetti di propagazione delle onde sismiche attraverso la litosfera;
- la valutazione degli effetti indotti dalle caratteristiche geologiche locali, che possono modificare drasticamente i livelli di scuotimento anche con repentine variazioni spaziali.

I metodi di calcolo della pericolosità sismica sono classificabili essenzialmente in due categorie, metodi deterministici e metodi probabilistici.

Il metodo deterministico si basa sulla individuazione di singoli scenari di evento sismico e dei conseguenti effetti da essi provocati nell'area in esame; in generale verrà preso a riferimento lo scenario peggiore, in termini di conseguenze, fra tutti quelli potenzialmente compatibili con il modello sismotettonico e la fisica dei materiali coinvolti; in questo ambito la stima della pericolosità è indipendente dalla ricorrenza temporale degli eventi considerati, e il tempo di ritorno degli scenari più critici può essere tale da non essere rappresentato nel database degli eventi storici, anche se temporalmente molto esteso (nel caso italiano, il catalogo si estende per diversi secoli) né tantomeno in quello strumentale. Diventa quindi essenziale un approccio di tipo geologico all'individuazione e caratterizzazione delle potenziali sorgenti.

Nel metodo probabilistico invece l'analisi della pericolosità è basata sulla probabilità di occorrenza di tutti gli eventi nelle diverse classi di magnitudo, e sul calcolo del contributo che ognuno di essi fornisce alla definizione dello scuotimento atteso.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Nell'analisi del rischio sismico probabilistica, il rischio al sito è specificato come i valori di scuotimento che potrebbero realizzarsi, con una data probabilità di eccedenza, all'interno di un periodo di tempo (tempo di esposizione) rappresentativo della vita di progetto dell'impianto. Tali valori sono calcolati a partire dai parametri della sorgente sismica (ubicazione, magnitudo, tasso di ricorrenza) attraverso una serie di algoritmi che legano la frequenza di magnitudo di tutte le possibili sorgenti sismiche alla distanza dal sito e alle sue condizioni.

Nelle analisi di pericolosità il movimento al suolo può essere quantificato in diversi modi, in dipendenza del grado di dettaglio dell'analisi e dell'utilizzo dei risultati; i più importanti sono:

- Parametri di picco in accelerazione, velocità e spostamento (*PGa*, *PGv*, e *PGd*)
- Durata dello scuotimento
- Parametri legati al rilascio energetico complessivo (es. intensità di Arias)
- Spettri di risposta e di Fourier
- L'intera *time history* dello scuotimento atteso, necessaria nel caso si debba simulare in modo dettagliato il comportamento non lineare sia del terreno che delle strutture ingegneristiche.

Il criterio CE2 della guida tecnica 29 (ISPRA,2014) prevede l'esclusione delle aree contrassegnate da sismicità elevata, specificando:

*“Sono quelle aree contrassegnate da un valore previsto di picco di accelerazione (PGA) al substrato rigido, per un tempo di ritorno di 2475 anni, pari o superiore a 0,25 g, secondo le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, in quanto in tali aree le successive analisi sismiche di sito potrebbero evidenziare condizioni in grado di compromettere la sicurezza del deposito nelle fasi di caricamento e, dopo la chiusura, per tutto il periodo di controllo istituzionale.”*

Il criterio CE2 specifica quindi in dettaglio la tipologia di parametro, il valore numerico di soglia e la base di dati da utilizzare per l'esclusione.

I valori di accelerazione del suolo cui fa esplicito riferimento il criterio CE2 sono stati ricavati attraverso un'analisi di tipo probabilistico, basata sui seguenti dati di ingresso (NTC, 2018):

- un modello sismotettonico del territorio, costruito a partire dalle attuali conoscenze della struttura geologica, della storia geodinamica e della sismicità rilevata, e composto da elementi areali a sismicità omogenea;
- un modello di ricorrenza degli eventi sismici alle diverse magnitudo, costruito sulla base dei dati di sismicità storica e strumentale;
- un modello di attenuazione dell'energia sismica in funzione della distanza dell'evento, costruito empiricamente sui dati di registrazioni strong motion ordinati per magnitudo e distanza evento-sito.

Le accelerazioni calcolate ed utilizzate nel criterio CE2 sono riferite ad un ideale substrato rigido, non tenendo quindi in conto le modificazioni indotte dall'assetto geostatigrafico locale, in particolare dagli strati di terreno più superficiali.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Un'analisi della pericolosità utilizzabile per le verifiche e gli eventuali adeguamenti progettuali richiederà certamente un approfondimento della conoscenza del potenziale sismogenetico e delle caratteristiche di rilascio temporale delle strutture tettoniche in un intorno significativo (strutture spesso ancora poco conosciute, specialmente in aree a non elevata sismicità), attraverso indagini *ad hoc* che consentano di integrare i dati incompleti e temporalmente poco estesi dei cataloghi sismici.

L'analisi, svolta a tempi di ritorno adeguati alla durata prevista per l'opera, permetterà di individuare gli scenari potenzialmente più critici da analizzare dettagliatamente in maniera deterministica, con tecniche di simulazione sorgente/propagazione che permettano una stima di scuotimento più dettagliata e realistica di quelle fornite dalle leggi empiriche, e con inclusione degli effetti dovuti alla geologia locale, che presuppongono un'accurata conoscenza dei parametri geometrici e meccanici dei terreni sottostanti il sito, conoscenza raggiungibile solamente nella fase di investigazione diretta.

Un approccio ibrido (probabilistico – deterministico) di questo tipo è esplicitamente indicato nella SSG9 (IAEA 2010):

*“The ground motion hazard should preferably be evaluated by using both probabilistic and deterministic methods of seismic hazard analysis.”* (par. 5.1).

In tutte le fasi di indagine, lo studio sismotettonico deve integrarsi – sia per quanto riguarda la programmazione delle indagini che per quanto attiene alla modellazione di sito – con gli studi relativi agli aspetti geologici, geomorfologici e di fagliazione superficiale.

## **CARATTERIZZAZIONE SISMICA NELLA FASE 2 GT29 - INDIVIDUAZIONE, NELLE AREE POTENZIALMENTE IDONEE DEI SITI DA SOTTOPORRE AD INDAGINI DI DETTAGLIO**

Le attività in ambito sismologico da eseguire nella fase 2 della GT29 saranno finalizzate essenzialmente a due obiettivi:

1. Verificare con maggiore grado di dettaglio i valori di accelerazione attesa, in particolare prendendo in considerazione tempi di ritorno più lunghi di quelli fissati dalla normativa tecnica (massimo 2475 anni) e compatibili con la durata di vita nominale del Deposito; ciò comporterà un approccio multidisciplinare allo studio delle strutture circostanti le aree oggetto di indagine, siano esse state incluse o meno nel database sismotettonico utilizzato dalla normativa;
2. Valutare, nelle aree in esame, gli effetti di amplificazione locale dello scuotimento imputabile alle caratteristiche geologico-geomorfologiche locali; in tal modo sarà possibile sia includere gli effetti locali nella verifica di corrispondenza ai criteri di bassa sismicità, sia individuare all'interno delle aree i settori più idonei ad ospitare il sito sulla base delle amplificazioni sismiche e degli effetti secondari attesi.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Gli ambiti di indagine per i due obiettivi sono nettamente differenti: mentre nel secondo caso le aree investigate saranno pressoché coincidenti con i settori potenzialmente idonei ad ospitare il sito, in ragione dell'elevata variabilità laterale delle caratteristiche di amplificazione locale, nel primo caso sarà necessario includere ad un livello regionale (fino a circa 300 km di distanza) tutte le potenziali sorgenti in grado di influenzare la pericolosità sismica delle aree.

Occorre rimarcare anche la differenza nelle possibili ricadute di tali attività sulla procedura di screening prevista dalla GT29: eventuali rivalutazioni della PGA conseguenti all'inclusione o alla modifica di nuove sorgenti sismiche hanno effetti su vaste porzioni di territorio e possono quindi essere applicate alle singole aree "oggetto di intesa" su cui vengono svolte indagini, nella loro interezza; la stima degli effetti di amplificazione locale, di contro, può condurre ad una zonazione interna alle aree in studio.

La caratterizzazione delle sorgenti richiede un riesame critico del database sismotettonico utilizzato per la determinazione dei valori di PGA utilizzati nell'applicazione del criterio CE2, verificando ed eventualmente integrando le informazioni in esso contenute con i dati disponibili; in tal modo si potranno identificare possibili lacune informative, come ad esempio indizi di strutture potenzialmente sismogenetiche non considerate nel calcolo della PGA, e/o possibili differenti interpretazioni di evidenze già considerate.

Verranno in particolare presi in considerazione ai fini della creazione del database sismologico:

- i dati strumentali, acquisiti da reti sismometriche ed accelerometriche a scala sia locale che regionale;
- i dati di sismicità storica (dati preinstrumentali) e la relativa interpretazione dei valori di intensità macrosismica in termini di parametri focali (epicentro, profondità, magnitudo) della sequenza sismica;
- i dati di evidenze di fagliazione superficiale (si veda in proposito il relativo ambito di caratterizzazione) e la loro possibile connessione a strutture sismogenetiche profonde;
- i dati di indagini paleosismologiche ed archeosismologiche disponibili in letteratura;
- i dati geofisici, in particolare dove disponibili le sezioni sismiche a riflessione;
- i dati geodetici (GPS, InSAR, VLBI, ecc.);
- i dati riguardanti la struttura, la dinamica, lo stato termico ed il comportamento reologico della porzione di litosfera sottostante l'area.

Verranno quindi identificate e analizzate le sorgenti sismogenetiche in grado di produrre risentimenti tali da modificare i valori presi a riferimento nelle fasi di analisi precedenti, in particolare nel lungo periodo; conseguentemente potranno essere eseguite stime preliminari dei valori massimi di scuotimento attesi utilizzando in

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



prevalenza relazioni empiriche (basate sui *database* accelerometrici) che correlano tali valori al massimo evento generabile dalla struttura.

Per quanto concerne la valutazione degli effetti di amplificazione locale, in questa fase il modello geologico - geotecnico preliminare dell'area descritto per il relativo ambito di caratterizzazione costituirà la base di partenza per l'analisi, che verrà condotta utilizzando i criteri e le metodologie impiegate nelle procedure di *Microzonazione Sismica (MS)*.

I contenuti e la complessità di uno studio di MS dipendono dai livelli di approfondimento che si vogliono raggiungere, a cui naturalmente corrispondono differenti risorse da mettere in campo, sia economiche che professionali.

I livelli di approfondimento, così come definiti dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica (ICMS, 2008) sono i seguenti:

- Livello1: il livello 1 di MS è propedeutico ai veri e propri studi di microzonazione e obbligatorio per affrontare i successivi livelli di approfondimento. Il quadro conoscitivo necessario a realizzare tale livello si basa sulla raccolta dei dati pregressi: rilievi geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici.
- Livello2: gli ICMS prevedono un livello di approfondimento che, attraverso l'esecuzione di indagini geotecniche e geofisiche in sito di tipo standard, consente di definire meglio il modello geologico del sottosuolo e di fornire per ciascuna microzona identificata nello studio di livello 1 una quantificazione numerica degli effetti, ottenuta con metodi semplificati.
- Livello3: è il livello di maggiore approfondimento e consente la definizione delle zone suscettibili di amplificazioni o di instabilità. Per il conseguimento di tali obiettivi è necessario sviluppare un modello di sottosuolo molto dettagliato, definire un evento di riferimento per le simulazioni numeriche attraverso le quali ottenere i parametri di amplificazione.

### **CARATTERIZZAZIONE SISMICA NELLA FASE 3 GT29 – QUALIFICAZIONE DEL SITO DEFINITIVO - CARATTERIZZAZIONE TECNICA DI DETTAGLIO DI UNO O PIÙ SITI, IN PARTICOLARE PER QUANTO RIGUARDA IL COMPORTAMENTO NEL LUNGO TERMINE**

Nella fase 3 le attività di caratterizzazione sono finalizzate alla valutazione finale dell'*input* sismico del sito definitivo; la pericolosità sismica, espressa sia in termini di parametri rappresentativi che da accelerogrammi, verrà determinata attraverso una modellazione numerica che descriva in dettaglio lo scuotimento atteso, a partire da:

1. una descrizione dettagliata delle sorgenti sismiche e degli eventi di rottura ad esse collegati, in termini di ubicazione e geometria del piano di faglia, magnitudo attesa, modalità di fratturazione;



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



2. un modello tridimensionale della porzione di crosta terrestre posta fra la sorgente sismica ed il sito, in termini di caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali costituenti;
3. un modello dettagliato dell'assetto geometrico e del comportamento dinamico dei terreni immediatamente sottostanti il sito, costruito in sinergia con il modello geotecnico descritto al par. 5.2.

L'approccio adottato per la valutazione della pericolosità sismica deve essere diretto a ridurre le incertezze nelle varie fasi del processo; la raccolta di dati sito-specifici sarà quindi mirata a ridurre il grado di incertezza e a valutare quantitativamente l'effetto delle incertezze. In particolare vengono riconosciute due principali tipologie di incertezza:

- incertezza epistemica, legata agli errori, alle imprecisioni e all'incompletezza del database sismologico ed alle assunzioni alla base dei modelli di calcolo.
- incertezza aleatoria, dovuta all'intrinseca natura *random* dell'evento sismico particolarmente alle alte frequenze, in relazione all'eterogeneità spesso indeterminabile della distribuzione degli stress e dei materiali coinvolti nel processo di rottura e propagazione delle onde.

Ulteriori indagini potranno quindi ridurre al minimo l'incertezza epistemica (eliminando ad esempio possibili modelli alternativi) e permettere di quantificare l'incertezza aleatoria presente nei risultati finali del calcolo.

Le sorgenti sismiche maggiormente rilevanti per la valutazione dell'input sismico verranno individuate attraverso una analisi probabilistica condotta per tempi di ritorno adeguati alla durata prevista per l'opera, previo ulteriore approfondimento della conoscenza del loro potenziale sismogenetico e delle caratteristiche di rilascio energetico.

Come accennato in premessa, la disaggregazione dei risultati dell'analisi probabilistica (vale a dire, la determinazione dei singoli contributi delle sorgenti sismogenetiche alla pericolosità complessiva dell'area) permetterà quindi di individuare gli scenari d'evento potenzialmente più critici, che verranno quindi analizzati dettagliatamente in maniera deterministica, in accordo con quanto indicato nella SSG9 (IAEA 2010).

L'implementazione della modellazione numerica richiede quindi uno studio accurato delle sorgenti selezionate per il calcolo, che porti alla definizione di dettaglio della loro struttura e delle caratteristiche di rilascio. Questo richiederà l'acquisizione di:

1. dati geologico-strutturali di dettaglio (in affioramento o tramite lo scavo di trincee) della loro eventuale emergenza in superficie, integrata da datazioni degli strati di terreno interessati;
2. dati geofisici, in particolare sezioni sismiche a riflessione in alta risoluzione, per lo studio delle strutture sepolte;

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



3. dati inSAR e GPS per lo studio dei movimenti lenti in atto e la valutazione dello strain rate;
4. dati microsismici, tramite installazione di una rete locale per caratterizzare il rilascio energetico di fondo della struttura investigata;
5. riesame dei dati storici e dei dati strumentali disponibili per gli eventi sismici, se ve ne sono, collegati alla struttura investigata.

Il modello di sottosuolo per la valutazione degli effetti di propagazione verrà costruito sulla base dei dati disponibili, e potrebbe richiedere indagini in campo, prevalentemente di tipo geofisico, per la migliore definizione di quelle strutture geologiche (in particolare i bacini sedimentari) in grado di modificare sensibilmente la frequenza, la durata e l'ampiezza delle onde sismiche nel corso del processo di propagazione.

Le caratteristiche geologiche locali verranno infine definite integrando nel programma di indagini geognostiche di sito l'esecuzione di prove geofisiche sia areali (sismica a rifrazione ed a riflessione alta risoluzione, studio onde di superficie, misure HVSR, ecc.) che in foro (prove Down – Hole, Cross-Hole, ecc.) per definire la distribuzione spaziale dei parametri elastici del terreno; verranno inoltre prelevati campioni rappresentativi del terreno per la determinazione in laboratorio con apposite prove (prove di taglio torsionale ciclico, prove triassiali cicliche, prove di colonna risonante, ecc.) delle caratteristiche di resistenza dinamica del terreno sotto l'azione di deformazioni finite, in particolare del modulo di taglio e del *damping* anelastico.

Tutti gli studi e le indagini *in situ*, dovranno essere eseguite nel rispetto delle norme, raccomandazioni o specifiche tecniche eventualmente previste (vedi capitolo 3) e che SOGIN indicherà nel Piano e programma delle indagini tecniche da sottoporre all'Autorità di Controllo (ISPRA/ISIN) come stabilito al comma 10 dell'art. 27 del D.Lgs. 31/2010 e ss.m.ii..

In considerazione della elevata non-linearità del comportamento dei terreni sottoposti a scuotimenti elevati, l'analisi della risposta sismica locale verrà condotta con tecniche di modellazione numerica, utilizzando come valori di ingresso le *time histories* in accelerazione risultanti dalla valutazione deterministica della pericolosità sismica al bedrock.

I valori di scuotimento così determinati determineranno l'azione sismica da utilizzare, oltre che nelle verifiche nelle verifiche progettuali, nella valutazione dei potenziali effetti secondari derivanti dalla loro interazione con i terreni presenti nell'intorno del sito, quali (come detto in premessa) liquefazione di terreni granulari, cedimenti sismoindotti in terreni coesivi, rimobilizzazione di zone di frattura, instabilità di versanti. Contribuiranno inoltre all'eventuale valutazione della pericolosità da tsunami.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 5.7 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – GEOMORFOLOGIA

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici, la SSG – 29 (*Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste*) fa riferimento in particolare ai fenomeni di superficie (*surface processes*), quali alluvioni, frane o fenomeni erosivi, che potrebbero compromettere la capacità del deposito di soddisfare i requisiti di sicurezza.

Tutte le potenziali condizioni di pericolosità geomorfologica – generate dall'accumulo di acque nelle zone a monte, o per rottura di strutture di controllo idraulico (dighe, briglie, ecc.), ostruzione di assi drenanti (canali, fiumi) e fenomeni franosi attivi o quiescenti – devono essere individuate, studiate e valutate allo scopo di essere minimizzate o rimosse; allo stesso modo deve essere valutato l'effetto del ruscellamento superficiale che potrebbe comportare l'innescio di fenomeni erosivi e ristagni d'acqua in settori dell'impianto.

In generale, secondo le indicazioni IAEA, dovrebbero essere individuate aree o siti con caratteristiche topografiche e idrogeologiche tali da escludere la possibilità che si verifichino fenomeni di inondazione.

Per quanto attiene agli aspetti geomorfologici, la SSR-1 IAEA *Site Evaluation for Nuclear Installations* evidenzia in particolare la necessità di approfondire la conoscenza di potenziali fenomeni di alluvionamento, analizzando e valutando tutti gli elementi che ne consentono la completa caratterizzazione, la definizione dei possibili scenari evolutivi e la pericolosità ad essi associata. Allo stesso modo la SSG-35 – *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations* – individua nei fenomeni di alluvionamento e/o di scarso drenaggio, elementi di pericolosità da considerare nella formulazione dei criteri correlati alla sicurezza dell'installazione nucleare, in questo caso il Deposito Nazionale.

### **Obiettivi della caratterizzazione – Geomorfologia**

L'insieme degli studi e delle indagini finalizzate alla qualificazione del sito in cui verrà realizzato il Parco Tecnologico – Deposito Nazionale, deve consentire la progressiva elaborazione di un modello quali-quantitativo che rappresenti in modo rigoroso e completo i caratteri geomorfologici del territorio in cui è compreso il sito definitivo.

Tale modello costituisce la base per la progettazione e per la valutazione del comportamento a breve e lungo termine dell'insieme sito-infrastruttura, consentendo l'analisi dei possibili scenari evolutivi in rapporto alla sicurezza e alla funzionalità delle strutture del deposito nell'intervallo temporale di riferimento; lo sviluppo di modelli previsionali basati sull'analisi dei processi geomorfologici in atto e della loro possibile evoluzione futura in presenza delle strutture del deposito e/o in relazione a cambiamenti del contesto ambientale di riferimento (ad es.: cambiamenti climatici), può indirizzare le scelte progettuali.

In termini generali, un modello geomorfologico è definibile come una rappresentazione del *paesaggio* reale (mediante prodotti cartografici, modelli

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



digitali, dati numerici, misure sperimentali, analisi quantitative, analisi frattale, ecc.) finalizzata alla descrizione e l'analisi dei sistemi geomorfologici; nel modello geomorfologico di sito – la cui capacità rappresentativa (*affidabilità*) varia in relazione al livello di approfondimento richiesto – devono essere definiti i seguenti tre aspetti fondamentali:

1. **“Geomorfologia storica”**: la storia evolutiva che ha condotto all’attuale assetto geomorfologico e l’insieme di processi e agenti morfogenetici che – con differenti scale temporali e in diversi periodi – hanno agito nella modellazione del paesaggio: cambiamenti climatici, vulcanismo, tettonica, oscillazioni glacio-eustatiche, subsidenza e sollevamento, fenomeni erosivi ad ampia scala, fenomeni legati alla gravità (frane e crolli, *creep* o soliflusso, DGPV, ecc.), fenomeni connessi alla dinamica fluviale (erosione, sedimentazione, eventi estremi), processi glaciali, eolici e di ambiente costiero; devono inoltre essere considerati gli agenti e i processi morfogenetici legati all’attività antropica: dighe e bacini artificiali, modificazioni del reticolo idrografico e del drenaggio superficiale, scavi e riporti, realizzazione di strutture in superficie e in sotterraneo, attività agricola, disboscamenti, ecc.
2. **Attuale assetto geomorfologico del territorio**: la descrizione quali-quantitativa delle forme del paesaggio attuale, dei processi che le hanno generate e del loro grado di attività (attivi e/o riattivabili, non attivi), degli agenti morfogenetici (anche antropici) e dei depositi ad essi associati; nella descrizione dell’assetto geomorfologico possono essere definite *unità litologiche del substrato* derivate dal modello geologico e classificate in base al grado di *erodibilità* (analogamente a quanto avviene per il modello geotecnico in relazione ai parametri fisico-meccanici); l’analisi delle forme del paesaggio e dei processi e fenomeni morfogenetici, inizialmente di tipo prevalentemente qualitativo-concettuale, deve progressivamente far ricorso a metodologie descrittive di tipo quantitativo (analisi geomorfica quantitativa).

Il modello deve consentire di determinare il livello di pericolosità geomorfologica – ad esempio per frana e/o alluvione – associata al sito di progetto e al territorio circostante nell’orizzonte temporale di riferimento per una infrastruttura come il Deposito Nazionale.

3. **Scenari evolutivi**: sviluppo di modelli previsionali – a breve e lungo termine – relativi all’evoluzione del territorio e dell’insieme sito-struttura nell’orizzonte temporale di riferimento per il Deposito anche tenendo conto di tutte le possibili variazioni delle condizioni ambientali al contorno; come già accennato, su tali modelli si deve basare l’analisi a medio-lungo termine relativa alla sicurezza e alla funzionalità del Deposito Nazionale, che indirizza le scelte progettuali (relative alle opere in elevazione e in sotterraneo e agli interventi di riassetto superficiale – scavi, rinterrati, reticoli di drenaggio, bacini artificiali, ecc.) allo scopo di minimizzare la possibilità di innesco e sviluppo di fenomeni e processi potenzialmente dannosi.

L’analisi dei possibili scenari evolutivi e l’elaborazione dei modelli previsionali deve consentire di valutare l’effetto della costruzione ed entrata in esercizio del Deposito e delle infrastrutture ad esso connesse sull’evoluzione geomorfologica del territorio in cui è inserito; andranno considerati tutti i possibili scenari

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



evolutivi anche in assenza del Deposito, allo scopo di valutarne gli impatti consentendo l'eventuale progettazione di interventi e/o opere di mitigazione e miglioramento.

Il modello geomorfologico di sito, fornisce inoltre i dati di *input* per le analisi territoriali quantitative relative alla stabilità dei versanti (a breve e lungo termine e in condizioni statiche, sismiche e post-sismiche), al potenziale di alluvionamento per diversi periodi di ritorno e alla possibile evoluzione del reticolo idrografico (analisi idrologiche), alla valutazione quantitativa dei fenomeni erosivi nel periodo di riferimento del Deposito.

### **Criteria ISPRA – Norme IAEA**

Le caratteristiche geomorfologiche del sito del Parco Tecnologico sono state considerate nella formulazione dei criteri di esclusione e di approfondimento (Guida Tecnica 29) con riferimento ai seguenti aspetti:

- *Stabilità geologica, geomorfologica e idraulica dell'area al fine di garantire la sicurezza e la funzionalità delle strutture ingegneristiche da realizzare secondo barriere artificiali multiple;*

I criteri di esclusione relativi alla morfologia del sito e alla pericolosità geomorfologica ad esso associata, sono i seguenti:

<b>CE4</b>	Esclusione di aree caratterizzate da rischio e/o pericolosità geomorfologica e/o idraulica di qualsiasi grado e le fasce fluviali
<b>CE5</b>	Esclusione di aree contraddistinte dalla presenza di depositi alluvionali di età olocenica
<b>CE6</b>	Esclusione delle aree ubicate ad altitudine maggiore di 700 m s.l.m.
<b>CE7</b>	Esclusione di aree caratterizzate da versanti con pendenza media maggiore del 10%
<b>CE8</b>	Esclusione di aree poste sino alla distanza di 5 km dalla linea di costa attuale oppure ubicate a distanza maggiore ma ad altitudine minore di 20 m s.l.m.

I criteri di approfondimento, che individuano gli aspetti che vanno valutati nelle fasi di localizzazione, sono i seguenti:

<b>CA4</b>	Presenza di bacini imbriferi di tipo endoreico
<b>CA5</b>	Presenza di fenomeni di erosione accelerata

Le principali norme IAEA cui si può far riferimento per la progettazione del piano di indagini e per la definizione degli obiettivi di caratterizzazione sono le seguenti:

- *SSG-29 – Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste*
- *SSG-35 – Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations*
- *SSR-1 – Site Evaluation for Nuclear Installations*

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



- SSG-18 - *Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations*

### **Aspetti metodologici**

L'approccio metodologico generale definito nei capitoli 2 e 3 costituisce la base anche per la progettazione e lo sviluppo del programma di indagini relativo agli aspetti geomorfologici.

Il programma di studi e indagini deve essere articolato *per gradi di approfondimento crescente* che conducano alla completa caratterizzazione del sito definitivo; tali indagini, unitamente ai dati di base utilizzati per la redazione della CNAPI inseriti in SIDEN<sup>7</sup>, costituiranno la base conoscitiva per l'elaborazione del modello geomorfologico iniziale di sito che dovrà essere continuamente implementato e revisionato allo scopo di indirizzare lo sviluppo del programma di indagini e condurre al modello quantitativo necessario per le attività di qualificazione del sito definitivo.

In accordo con tale approccio metodologico, anche la *programmazione* delle indagini *in situ* deve essere strutturata come un processo *aperto* sottoposto a continua verifica e suscettibile di modifiche e integrazioni sulla base dell'analisi dei modelli di sito via via prodotti. In tutte le fasi di indagine, la modellazione geomorfologica deve integrarsi – sia per quanto riguarda la programmazione delle indagini che per quanto attiene alla modellazione di sito – con gli studi relativi agli aspetti geologici, geotecnici, sismotettonici, idrogeologici, geochimici, idrologici e meteoroclimatici.

Alcuni elementi propri della caratterizzazione geomorfologica, costituiscono la base indispensabile per lo sviluppo della maggior parte degli altri ambiti di caratterizzazione e devono essere definiti con un livello di affidabilità medio-alto già nelle fasi iniziali del processo di localizzazione: in particolare dovranno essere eseguiti rilievi topografici a dettaglio elevato delle aree in studio e, con dettaglio minore, del territorio circostante (per un raggio di almeno 5-10 Km) a supporto della fase di individuazione dei siti da sottoporre ad analisi di dettaglio (vedi oltre – fase 2); successivamente, nel corso degli approfondimenti di indagine per la qualificazione del sito definitivo (fase 3), dovrà essere ulteriormente incrementato il livello di dettaglio della rappresentazione topografica con tecniche di rilievo più evolute.

Già nelle fasi iniziali dovranno essere approfondite le caratteristiche topografiche/batimetriche dei corsi d'acqua e del reticolo di drenaggio (per le analisi idrologiche – criterio CE4), le caratteristiche dei versanti (per le verifiche di stabilità – criterio CE4) e dovranno essere effettuate le misure di riferimento per l'individuazione ed il monitoraggio di eventuali movimenti superficiali (per i quali occorre riferirsi a un periodo di osservazione sufficientemente esteso).

<sup>7</sup> Sistema Informativo del DEposito Nazionale: Banca Dati del Deposito Nazionale, che accoglierà tutti i dati raccolti e prodotti nell'ambito in esame (e negli altri ambiti)



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Per quanto riguarda l'*intorno significativo* di riferimento per le analisi geomorfologiche, oltre a quanto specificato per il rilievo topografico, la sua estensione dipende prevalentemente dal tipo di processo/fenomeno da indagare e dalla risoluzione richiesta, dalle caratteristiche locali della zona di indagine e dall'areale di riferimento per le attività di monitoraggio e l'analisi di sicurezza; in linea generale, le analisi per la definizione del modello geomorfologico si estendono a scala di bacino, mentre per le analisi di dettaglio – relative alla modellazione di eventi e processi a scala di sito – si fa riferimento ad areali meno estesi.

Analogamente a quanto definito per altri ambiti, anche considerando i vincoli di priorità sopra definiti per il rilievo topografico, è possibile schematizzare – per ogni fase di approfondimento – un processo conoscitivo basato su metodologie e tecniche analitiche a dettaglio e risoluzione crescenti:

1. *Raccolta sistematica e analisi critica di tutta la documentazione disponibile*: studi e pubblicazioni scientifiche, documentazione tecnica a supporto di progetti privati o pubblici e/o di strumenti di pianificazione territoriale (ad esempio P.A.I., P.R.G., studi a scala regionale, ecc.), banche dati da stazioni di monitoraggio, fotointerpretazione ecc.
2. *Rilievi*: rilievo topografico di superficie o con sensori satellitari/aerei (*airborne*) con diverse tecniche (stazione totale, GPS, fotogrammetria digitale, laser scanning, LIDAR, ecc.), rilievi batimetrici (corsi d'acqua, bacini), rilievi di eventuali strutture antropiche esistenti, modellazione del rilievo (DTM, DSM, 3D modeling), rilevamento geomorfologico di dettaglio, ecc.
3. *Esecuzione di indagini in situ*: indagini geognostiche e prove geotecniche *in situ* per lo studio di fenomeni superficiali (ad es. frane, soliflussi, ecc.), analisi sedimentologiche e analisi di laboratorio geotecnico, indagini geofisiche in superficie e in foro, installazione strumenti di monitoraggio e misure per l'individuazione e il controllo degli spostamenti superficiali (livellazioni di alta precisione, GPS, stazione totale, *Permanent Scatterers* e interferometria SAR, LIDAR), monitoraggio strumentale (inclinometri, fessurimetri, assestimetri, estensimetri), prove su modelli, ecc..

### **Monitoraggio**

Nel capitolo 4 sono state definite le funzioni e i principi generali sulla base dei quali deve essere sviluppato il programma di monitoraggio per un deposito per rifiuti radioattivi di tipo superficiale.

La definizione dei processi morfogenetici e della dinamica evolutiva del territorio in termini quantitativi è basata, soprattutto per i fenomeni a scala temporale minore (ad es.: frane e movimenti di versante), sull'osservazione e la misura di alcuni parametri e grandezze per tempi sufficientemente estesi; per i processi legati a variazioni su scale temporali più ampie (ad esempio i cambiamenti climatici o i processi morfotettonici) ci si riferisce a modelli previsionali.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Il programma di monitoraggio deve quindi inizialmente prevedere l'installazione di strumenti di misura e l'effettuazione di rilievi periodici per un periodo sufficientemente esteso per la definizione del modello geomorfologico di riferimento (*baseline monitoring*).

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici, il monitoraggio avrà come oggetto tutti i processi geomorfologici, gli agenti morfogenetici e le forme del paesaggio la cui variazione potrebbe compromettere la stabilità e la funzionalità del deposito a breve e lungo termine con potenziali conseguenze sulla sicurezza.

Il Modello Geomorfologico descrive le condizioni del sito precedenti all'inizio dei lavori per la costruzione del Deposito Nazionale e individua gli elementi rilevanti ai fini del monitoraggio del sito durante le fasi di costruzione e di esercizio.

Il modello descrive inoltre i possibili scenari evolutivi del sito in relazione a processi con diversa scala spaziale e temporale; tali modelli previsionali si basano su conoscenze e osservazioni riferite a periodi di tempo relativamente ridotti e dovranno pertanto essere continuamente verificati e riformulati nel corso dell'intero periodo di esistenza del Deposito Nazionale (costruzione, esercizio, chiusura e post-chiusura).

Tali concetti sono espressi anche nella NS-G-3.6 che evidenzia la necessità di verificare i modelli previsionali sulla base della misura delle effettive condizioni di carico e delle deformazioni, così da poter rivedere le previsioni a lungo termine incrementandone il grado di affidabilità.

## **CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA NELLA FASE 2 GT29 - INDIVIDUAZIONE, NELLE AREE POTENZIALMENTE IDONEE DEI SITI DA SOTTOPORRE AD INDAGINI DI DETTAGLIO**

Nella fase 2 della GT29, il modello di sito dovrà eventualmente consentire l'individuazione, all'interno delle aree potenzialmente idonee "oggetto di intesa", dei siti da sottoporre ad indagini di dettaglio.

Questa fase corrisponde all'*Area Survey Stage – site screening phase* della SSG – 29 che, per gli aspetti legati ai processi geomorfologici (*surface processes*) sottolinea la necessità di approfondire gli elementi legati alla potenziale alluvionabilità delle aree, basando la selezione dei siti potenziali sulla severità degli effetti degli eventi alluvionali attesi; i processi superficiali (erosione localizzata e areale, frane, ecc.) dovrebbero essere valutati in relazione alla loro frequenza e capacità di compromettere o interferire con la sicurezza del deposito.

I criteri ISPRA sopra citati, impongono l'esclusione di aree caratterizzate da pericolosità geomorfologica e idraulica di qualsiasi grado (CE4); in generale, per la valutazione della *pericolosità* associata al sito del deposito (definita come la *probabilità che un fenomeno di una certa intensità si verifichi in un dato periodo e in una data area*) il periodo di riferimento è dell'ordine di molti secoli, superiore ai

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



tempi cui generalmente ci si riferisce nella definizione delle fasce/zone di pericolosità idraulica negli strumenti di pianificazione territoriale. In accordo con la formulazione dei criteri, gli studi geomorfologici e le analisi idrologiche di dettaglio per la stima della pericolosità geomorfologica/idraulica associata alle aree non escluse “oggetto di intesa” nell’orizzonte temporale di riferimento devono essere svolti nelle prime fasi del processo di caratterizzazione; l’analisi andrà estesa a tutto il reticolo idrografico.

Andrà quindi verificata, ad un livello di dettaglio maggiore, la completa rispondenza delle caratteristiche dell’area ai vincoli imposti da tutti criteri di esclusione. Per l’individuazione dei potenziali siti di realizzazione del deposito all’interno delle aree in studio, potranno inoltre essere valutati alcuni degli elementi citati nei criteri di approfondimento.

Il rilevamento topografico di dettaglio del settore in cui è compresa l’area (o le aree) e del territorio circostante, costituisce la base per la maggior parte degli studi e delle analisi di supporto alle prime fasi di caratterizzazione, per tutti gli ambiti di approfondimento. La modellazione topografica e l’avvio del monitoraggio dell’evoluzione superficiale, costituiscono inoltre elementi base per la definizione completa del modello geomorfologico di sito che, come si è visto, comprende fenomeni e processi attivi la cui descrizione deve basarsi su misure e osservazioni sperimentali temporalmente estese. La modellazione topografica delle aree a un livello di dettaglio elevato, rappresenta quindi una delle prime *verifiche in campo* (GT29) da eseguire in Fase 2.

Per ognuna delle aree di indagine, dovrà essere elaborato un modello geomorfologico preliminare di riferimento sulla base del quale potranno essere individuati il sito o i siti in cui approfondire il dettaglio delle indagini; anche in questa fase del processo, l’areale di riferimento per la definizione del modello corrisponde all’*intorno significativo* sopra definito.

La raccolta, la revisione e l’elaborazione di serie di dati storici, derivanti da misure o osservazioni sperimentali costituisce un ulteriore elemento del modello geomorfologico preliminare proprio di questa fase del processo di caratterizzazione.

I modelli elaborati in questa fase del processo di localizzazione, per quanto caratterizzati da un grado di *affidabilità* relativamente meno elevato, dovranno consentire l’esecuzione di scelte di tipo progettuale correlate alla sicurezza e alla funzionalità del deposito, fornendo la base per i modelli semi-quantitativi che consentiranno lo sviluppo del piano di indagine nel sito “definitivo”.

Tutti gli studi, le indagini *in situ* e le analisi di laboratorio, dovranno essere eseguite nel rispetto delle norme di legge, degli standard di riferimento, delle raccomandazioni e specifiche tecniche elencate nel capitolo 3 del presente documento e che SOGIN indicherà nel Piano e programma delle indagini tecniche da sottoporre all’Autorità di Controllo (ISIN) come stabilito al comma 10 dell’art. 27 del D.Lgs. 31/2010 e ss.m.ii..

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Oltre a quanto accennato relativamente al modello topografico, la distribuzione e il numero delle eventuali indagini *in situ* dirette o indirette possono dipendere da diversi fattori quali le caratteristiche dell'area e il grado di *affidabilità* richiesto: si potrà procedere secondo criteri geometrico-statistici o basandosi sui risultati delle fasi di studio bibliografico/documentale e dei rilevamenti di superficie; le indagini saranno funzionali a più ambiti di caratterizzazione, sarà pertanto opportuno coordinare i diversi studi specialistici, al fine di massimizzare l'efficienza del piano di indagine ed evitare ridondanze o approfondimenti inutili.

Per alcuni degli aspetti legati alla sicurezza (*safety related*), potranno essere valutati preliminarmente i seguenti aspetti:

- Pericolosità geomorfologica (CE4)
- Pericolosità idraulica (CE4)
- Franosità e potenziale instabilità dei versanti (in condizioni statiche e dinamiche e a breve e lungo termine) (CE4)
- Movimenti/spostamenti superficiali (CE4)
- Fenomeni erosivi di maggiore entità (CA5)
- Fenomeni erosivi superficiali di minore entità (*sheet, rill o gully erosion; non-safety related criteria* - CA5)

Tali verifiche, per quanto preliminari e legate al grado di affidabilità dei primi modelli di sito, potrebbero condurre all'ulteriore esclusione di porzioni di area.

Per quanto attiene il programma di monitoraggio, come già accennato, la definizione di alcune componenti del modello geomorfologico deve basarsi necessariamente sul monitoraggio e sul controllo di spostamenti del terreno e/o modifiche della morfologia; già in questa fase sarà quindi possibile individuare alcuni dei parametri e dei processi che dovranno essere oggetto di monitoraggio iniziale e in fase di costruzione ed esercizio.

Al termine di questa fase di indagine, il modello geomorfologico dovrà integrarsi con modelli e informazioni propri degli altri ambiti di caratterizzazione; tale aspetto rende indispensabile l'adozione di sistemi avanzati di raccolta, gestione e condivisione dei dati sperimentali (par.: 2.3) con l'adozione preliminare di strumenti di modellazione/rappresentazione numerica. Per ogni area indagata, tale processo produrrà un modello complessivo *prevalentemente qualitativo* sulla base del quale potranno essere valutate le diverse componenti ambientali (compresi gli aspetti antropici e socio-economici).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## **CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA NELLA FASE 3 GT29 – CARATTERIZZAZIONE TECNICA DI DETTAGLIO DI UNO O PIÙ SITI, IN PARTICOLARE PER QUANTO RIGUARDA IL COMPORTAMENTO NEL LUNGO TERMINE**

La fase finale del processo di analisi deve condurre progressivamente all'individuazione del sito definitivo per la realizzazione del deposito ed alla sua completa caratterizzazione e modellazione quantitativa.

Come già accennato nella premessa di questa sezione, per quanto attiene agli aspetti geomorfologici l'insieme delle indagini e degli studi dovrà definire in modo rigoroso, sistematico e obiettivo il Modello Geomorfologico di riferimento caratterizzato da elevato grado di *affidabilità*, su cui basare la progettazione, le verifiche della sicurezza e delle prestazioni e l'analisi del comportamento a breve e lungo termine del sito definitivo nel suo complesso e dell'insieme strutture-terreno in tutte le condizioni previste.

La fase 3 può considerarsi costituita da due *step* principali che trovano corrispondenza nelle fasi di caratterizzazione definite nella SSG-29: una prima fase di approfondimento (*Site Investigation Stage*) e una fase successiva con lo scopo di caratterizzare in dettaglio il sito da qualificare (*Detailed Site Characterization Stage*). La SSG-35 fornisce alcune indicazioni di carattere generale circa i criteri cui far riferimento per l'elaborazione di una classifica basata sulle caratteristiche del sito: in generale, tali classifiche si basano su una combinazione tra criteri "di approfondimento" e criteri non direttamente legati alla sicurezza cui poter associare *pesi* relativi o valutazioni per giungere ad un ordinamento pesato delle alternative. Il grado di affidabilità dei modelli di sito su cui basare le operazioni di classifica deve essere elevato e confrontabile.

Il grado di approfondimento che deve essere raggiunto inizialmente per l'affinamento dei modelli di sito può dipendere da numerosi fattori e non è necessariamente un parametro assoluto e univoco; l'esecuzione di tali indagini potrebbe consentire l'installazione di ulteriore strumentazione per il monitoraggio del sottosuolo.

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici, in questa fase (*Site Investigation Stage*), potranno essere valutati, oltre agli aspetti già considerati in precedenza (aspetti legati alla sicurezza/fattori di esclusione):

- la geometria e le caratteristiche del reticolo idrografico in termini quantitativi, con particolare attenzione alla presenza di settori di convergenza del drenaggio (metodologie di analisi: analisi geomorfica quantitativa, analisi statistica, analisi frattale, ecc.);
- fenomeni erosivi areali e localizzati;
- pendenza ed esposizione dei versanti (anche in relazione a venti e fenomeni meteo-climatici, vedi oltre);
- morfologie complesse e/o irregolari;

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



- fenomeni di alterazione superficiale;
- movimenti del terreno di minore entità (ad esempio legati a variazioni stagionali del contenuto d'acqua della coltre superficiale);
- opere idrauliche minori a monte o a valle del sito del deposito (anche considerando possibili sviluppi futuri, ad es.: microidroelettrico – vedi oltre paragrafo “aspetti umani”);
- effetti della realizzazione del Deposito e del Parco Tecnologico sull'evoluzione geomorfologica dell'area (modifica assi di drenaggio, deflussi, variazioni nel trasporto solido, ecc.);
- distanza da versanti;
- livello relativo e assoluto di pericolosità geomorfologica (da frana e/o alluvione).

La programmazione delle indagini per la qualificazione del sito dovrà basarsi sul livello di conoscenza e di affidabilità del modello elaborato nel corso delle prime fasi di indagine; come si è visto, tale parametro non può essere definito *a priori* in modo assoluto in quanto dipende da diversi fattori tra cui il numero di siti indagati, il numero e la qualità dei parametri presi in considerazione, i metodi di analisi multicriteri effettivamente utilizzati.

Il programma delle indagini, degli studi e delle analisi geomorfologiche per la qualificazione definitiva deve essere sviluppato (con approccio interdisciplinare e con la possibilità di continue revisioni e integrazioni) in funzione degli obiettivi di modellazione sopra descritti e, in quest'ultima fase, tenendo conto del tipo di opere e interventi previsti. Andranno ulteriormente verificati tutti gli aspetti già considerati nel corso del processo di localizzazione (criteri di esclusione e di approfondimento, fenomeni, parametri e processi analizzati ai fini della selezione).

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici, il passaggio da modelli quali-quantitativi a un modello prevalentemente quantitativo deve consentire l'avvio delle prime iterazioni di calcoli progettuali e verifiche di sicurezza in fase di costruzione e di esercizio, in condizioni statiche e dinamiche (sismiche e post-sismiche), relative agli elementi morfologici che verranno modificati nel corso della costruzione e/o la cui evoluzione futura potrebbe interagire con le strutture del Deposito e del Parco Tecnologico.

Il modello quantitativo geomorfologico – oltre alla completa definizione della morfologia in termini di forme, depositi, agenti e processi morfogenetici – deve consentire lo sviluppo di modelli previsionali a breve e lungo termine del sito definitivo e del territorio in cui è compreso, in tutti gli scenari ambientali previsti; tali modelli dovranno riferirsi alla possibile evoluzione del sito in assenza e in presenza del deposito e delle strutture ad esso connesse, valutandone gli impatti e indirizzandone la progettazione, riducendo ad esempio il livello di pericolosità geologico-morfologica associato alla zona.

In particolare, il modello geomorfologico potrà interagire con la progettazione strutturale e geotecnica per quanto attiene ai seguenti aspetti: dimensionamento e



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



verifica di pendii naturali e artificiali, fronti di scavo, opere di sostegno, opere in terra, argini, opere e sistemi di drenaggio delle acque superficiali, opere per il controllo dell'erosione superficiale, sistemazioni idrauliche, opere di ingegneria naturalistica, ecc..

Il risultato dei primi calcoli progettuali consentirà di evidenziare eventuali incertezze nel modello di sito, indirizzando la programmazione delle successive indagini, sia per quanto attiene alla loro ubicazione e densità, che per quanto riguarda la tipologia di indagine e il parametro sperimentale richiesto.

Potranno inoltre essere realizzati modelli reali in scala di opere e interventi previsti (opere in terra) da sottoporre a controlli e prove per valutarne il comportamento a breve e lungo termine ed elaborare soluzioni progettuali corrette (ad esempio per il controllo dell'erosione nella copertura finale o dei versanti circostanti il sito).

In quest'ultima fase andrà progettato e realizzato il sistema di monitoraggio e controllo dei processi geomorfologici, degli agenti morfogenetici e delle forme del paesaggio la cui variazione potrebbe avere effetto sulla stabilità e la funzionalità delle strutture del deposito a breve e lungo termine; il *Progetto di Monitoraggio* deve descrivere i parametri e i fenomeni che si intende osservare, definendo il tipo, il numero, le modalità di installazione e la posizione degli strumenti, oltre che la frequenza, la modalità delle misure e le specifiche tecniche di riferimento.

Il sistema di monitoraggio e controllo resterà in funzione "in continuo" e dovrà essere ampliato e integrato nelle fasi di costruzione ed entrata in esercizio del Deposito, con l'installazione di strumenti di misura relativi alle strutture e agli eventuali interventi di riassetto dell'area (pendii artificiali, opere in terra, opere stradali, ecc.).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 5.8 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – IDROLOGIA

Secondo quanto riportato dalla guida IAEA di riferimento SSG – 29 *Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste*, una caratterizzazione precisa dell'idrologia di un sito (e di tutti gli altri ambiti utili alla definizione dei processi superficiali) risulta indispensabile per fornire un'adeguata ricostruzione e comprensione del territorio soprattutto ai fini della sicurezza, sia per gli aspetti ingegneristici che per quelli legati alla salvaguardia della salute ambientale e umana. Essenzialmente la caratterizzazione idrologica deve portare alla ricostruzione di un modello di sito che sia in grado di descrivere in modo completo ed efficace le componenti ambientali idrauliche presenti (specchi d'acqua, corsi d'acqua, ruscellamento,...), inizialmente da un punto di vista puramente geometrico e idraulico, fornendo poi una buona rappresentazione dei processi che li coinvolgono (bilancio idrico, alluvioni,...), dei rischi ad essi associati e delle loro interazioni con le altre componenti ambientali (interazioni con la circolazione idrica sotterranea idraulico sotterraneo, effetti sulla morfologia,...). All'interno della Guida Tecnica 29 (ISPRA, 2014) si fa infatti soprattutto riferimento proprio ai processi superficiali legati alla componente idrologica e all'interazione della stessa con il comparto sotterraneo e la superficie topografica, sia in termini di pericolosità che di ricerca di particolari condizioni naturali in grado di contribuire al contenimento dei radionuclidi; in particolare, questo ambito di caratterizzazione si può collegare ai seguenti criteri di esclusione:

- CE4 – Esclusione delle aree “caratterizzate da rischio e/o pericolosità geomorfologica e/o idraulica di qualsiasi grado e le fasce fluviali” (trattato anche nell'ambito di caratterizzazione relativo alla geomorfologia);
- CE5 - Esclusione di aree contraddistinte dalla presenza di depositi alluvionali di età olocenica;
- CE8 – Esclusione di aree “sino alla distanza di 5 km dalla linea di costa attuale oppure ubicate a distanza maggiore ma ad altitudine minore di 20 m s.l.m. Queste aree possono essere soggette ad ingressioni marine: [...]”;
- CE10 – Esclusione di aree “caratterizzate da livelli piezometrici affioranti o che, comunque, possano interferire con le strutture di fondazione del deposito” (trattato anche nell'ambito di caratterizzazione relativo all'idrogeologia);
- CE15 – Esclusione di aree “caratterizzate dalla presenza di attività industriali a rischio di incidente rilevante, dighe e sbarramenti idraulici artificiali, aeroporti o poligoni di tiro militari operativi. In presenza di dighe e sbarramenti idraulici artificiali devono essere escluse le aree potenzialmente inondabili in caso di rottura dello sbarramento.” (trattato anche nell'ambito di caratterizzazione relativo alle infrastrutture critiche rilevanti o strategiche);

e ai seguenti criteri di approfondimento:

- CA5 – Presenza di fenomeni di erosione accelerata (trattato anche nell'ambito di caratterizzazione relativo alla geomorfologia);
- CA8 – Parametri idrogeologici (trattato anche nell'ambito di caratterizzazione relativo all'idrogeologia).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



La definizione dettagliata e completa dello stato attuale delle componenti idrauliche e dei loro parametri caratteristici nonché l'individuazione e la descrizione dei processi che le coinvolgono, devono fornire le informazioni di base utili per la comprensione delle modalità attraverso le quali l'ambiente naturale potrebbe avere effetti negativi sul contenimento e l'isolamento dei radionuclidi e, di conseguenza, fornire le indicazioni necessarie affinché, in fase di progettazione, possano essere realizzate e dimensionate correttamente opere ingegneristiche o procedure che vadano a costituire un sistema di controlli passivi, sia in fase operativa che dopo la chiusura del Deposito.

Il processo di caratterizzazione prevede che il sito e il suo *intorno significativo* (ossia l'areale esteso in prossimità del sito utile per una definizione completa ed efficace delle caratteristiche dello stesso e dei processi che lo interessano) vengano rappresentati attraverso modelli numerici con due finalità principali: la ricostruzione dei processi *interessati da* o *interessanti* la componente idrologica per l'analisi di sicurezza dell'infrastruttura e dell'attività di smaltimento, soprattutto in termini di isolamento dei rifiuti dall'ambiente, e l'individuazione, la definizione e la rappresentazione delle differenti vie e modalità di dispersione dei radionuclidi eventualmente fuoriusciti nei vari comparti ambientali, per la valutazione dell'esposizione umana.

Come riportato all'interno della guida IAEA SSG-18 (2011a), la pericolosità di origine idrologica è perlopiù associata ad eventi esterni (non dipendenti dalle attività svolte all'interno della struttura) riconducibili a valori estremi (alti o bassi) dei livelli di acqua in prossimità del sito o a "*dynamic effects*" quali ad esempio onde, tsunami<sup>8</sup>, alluvioni repentine. I principali fenomeni da considerare nel corso della caratterizzazione sono quindi, ad esempio, precipitazioni estreme, deflussi superficiali, alluvioni, improvvisi rilasci di grandi quantità di acqua da bacini naturali o artificiali o canali, onde improvvise, crolli e/o frane nei bacini, tsunami, variazioni dei livelli delle acque sotterranee.

Durante il processo di caratterizzazione che porta alla qualificazione del sito, in particolare nell'ultima fase (fase 3 ISPRA), deve sempre essere tenuta in considerazione la "vita" del Deposito stesso, che può essere quantificata nell'ordine di secoli. In generale, date le caratteristiche proprie della struttura e le sue finalità, risulta di grande importanza la valutazione della variazione di comportamento del sito a lungo termine attraverso l'individuazione degli scenari futuri possibili per i quali dovranno essere realizzate proiezioni appropriate, soprattutto per quanto riguarda quei parametri che, come nel caso dei parametri idrologici e idraulici, potrebbero mostrare una maggiore variabilità nel tempo, in particolare come conseguenza dei cambiamenti climatici in atto (vedi ambito di caratterizzazione relativo a climatologia e meteorologia). Relativamente all'orizzonte temporale di

<sup>8</sup> Per quanto riguarda la valutazione del pericolo derivante da tsunami, date le caratteristiche del territorio italiano l'applicazione del criterio CE8 (valori minimi di distanza dalla costa e di quota) potrebbe essere considerata sufficiente per la mitigazione del rischio associato.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



riferimento per le analisi a lungo termine, dovranno essere tenute in considerazione anche le evidenze geologiche e geomorfologiche quali ad esempio la presenza e la geometria dei depositi alluvionali olocenici.

Sulla base delle valutazioni effettuate durante il processo di caratterizzazione, con lo scopo di avere una sempre più completa ed affidabile valutazione dell'evoluzione naturale dell'ambiente ai fini della sicurezza e del mantenimento dell'isolamento, è di fondamentale importanza lo sviluppo di un efficace piano di monitoraggio continuo e a lungo termine dei parametri idrologici, sia nelle fasi proprie di caratterizzazione e conseguente qualificazione del sito finale sia durante l'esercizio del Deposito Nazionale e la successiva fase di controllo istituzionale dopo la sua chiusura. La caratterizzazione del sito, come già descritto nelle sezioni precedenti di questo documento e secondo quanto indicato nella GT 29, dovrà essere effettuata secondo un processo di approfondimento continuo; ogni fase successiva dovrà basarsi su database i cui livelli di dettaglio, completezza e qualità saranno via via migliori al proseguire delle fasi di caratterizzazione e andranno a costituire, unitamente ai database realizzati all'interno degli altri ambiti di caratterizzazione, l'insieme di dati alla base del modello unico integrato per la qualificazione del sito finale. Di seguito si riporta uno schema concettuale in cui vengono individuate le principali componenti del processo di caratterizzazione idrologica del sito, che verranno poi descritte in maggior dettaglio nei capitoli seguenti.

In tutte le fasi di indagine, la modellazione idrologica deve integrarsi – sia per quanto riguarda la programmazione delle indagini che per quanto attiene alla modellazione di sito – con gli studi relativi agli aspetti geologici, geomorfologici, geochimici, idrogeologici e meteo-climatici (vedi oltre).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---

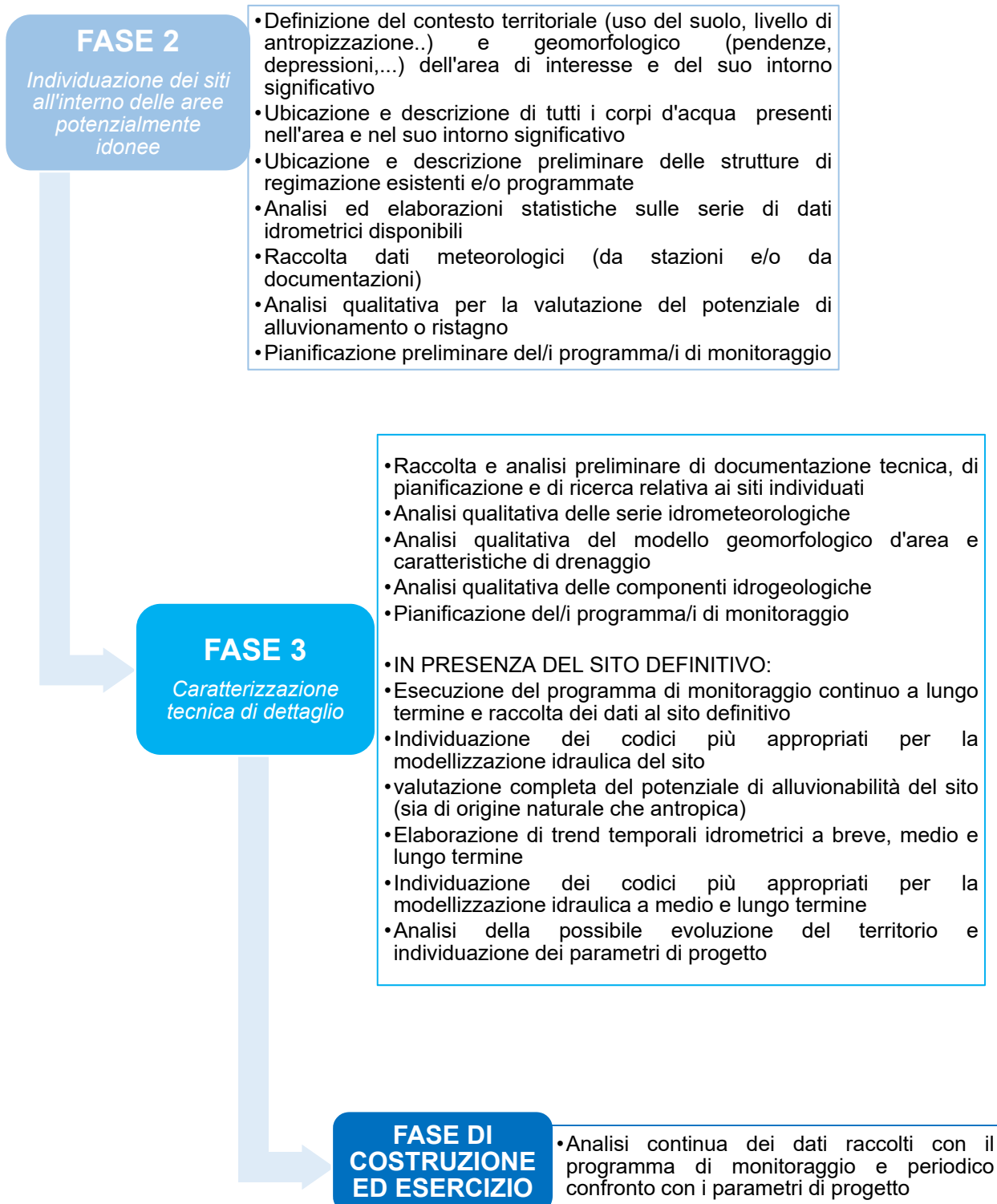


Figura 5.9 - Principali componenti del processo di caratterizzazione idrologica del sito.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## **CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA NELLA FASE 2 ISPRA - INDIVIDUAZIONE, NELLE AREE POTENZIALMENTE IDONEE, DEI SITI DA SOTTOPORRE AD INDAGINI DI DETTAGLIO**

Sulla base dei criteri definiti nella GT29 sopra riportati, il primo *step* di questa fase dovrà prevedere la verifica dettagliata della rispondenza delle aree indagate ai vincoli imposti dai criteri di esclusione e, qualora non fossero rispettati, dovranno essere eliminate le porzioni di territorio non idonee (ad esempio se vengono ritrovati nuovi dati relativi a dighe o sbarramenti in fase di progetto avanzato o nuove zone ritenute allagabili).

In un secondo momento si dovrà procedere all'individuazione, all'interno delle aree vaste ritenute idonee, dei siti da sottoporre a indagini di dettaglio, anche sulla base dei criteri di approfondimento indicati nella GT29 e sopra riportati.

In supporto a quanto riportato nella GT29 esistono una serie di guide e documenti IAEA (SSG-35, NS-G-1.5, SSG-18, SSG-29, TecDoc 1199, TecDoc 1347,...) che forniscono indicazioni di carattere generale sulle caratteristiche di sito utili per l'individuazione di settori, all'interno di un'area, che risultino più favorevoli rispetto ad altri.

Inizialmente sarà necessario effettuare, all'interno delle aree e del loro intorno significativo, le seguenti analisi, per la definizione di un modello idrologico qualitativo e preliminare:

- analisi descrittiva e rilievo di tutti i corpi d'acqua (fiumi, laghi naturali e artificiali, canali) esistenti, e raccolta dei dati necessari per una loro modellizzazione quali-quantitativa preliminare;
- individuazione e analisi di eventuali interventi programmati di modifica o riassetto del reticolo idrografico e/o delle componenti ambientali idrauliche (ad esempio: progetti di scavo di invasi artificiali o di canalizzazioni);
- analisi qualitativa dei caratteri geomorfologici dell'area (vedi il relativo ambito di caratterizzazione), con lo scopo di individuare i bacini idrografici e riconoscerne le caratteristiche di drenaggio;
- raccolta dei dati relativi all'uso del suolo e alle coperture presenti;
- raccolta delle serie storiche di dati idrologici disponibili;
- raccolta di dati relativi ad eventuali alluvioni passate verificatisi nella regione;
- individuazione e caratterizzazione preliminare delle opere di ingegneria idraulica presenti e programmate nella regione, in particolare a monte del deposito;
- raccolta delle serie storiche di dati meteorologici (vedi il relativo ambito di caratterizzazione);
- analisi qualitativa delle componenti idrogeologiche (vedi il relativo ambito di caratterizzazione).

Sulla base del modello qualitativo basato sui dati sopra elencati, dovrà essere effettuata anche la progettazione preliminare dei piani di monitoraggio per la raccolta in continuo dei dati necessari al miglioramento del modello di sito nel tempo, dalla fase pre-costruttiva fino al termine della fase di controllo istituzionale del Deposito Nazionale.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## **CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA NELLA FASE 3 ISPRA - CARATTERIZZAZIONE TECNICA DI DETTAGLIO DI UNO O PIÙ SITI, IN PARTICOLARE PER QUANTO RIGUARDA IL COMPORTAMENTO NEL LUNGO TERMINE**

L'obiettivo finale del processo di localizzazione è la completa caratterizzazione del sito definitivo in cui realizzare il Deposito Nazionale, ai fini della sua qualificazione. Durante questa fase del processo dovranno essere raccolte tutte le informazioni necessarie all'elaborazione di modelli quantitativi a breve, medio e lungo periodo per la definizione dei parametri e dei valori di progetto ma soprattutto per l'analisi di sicurezza. Come già riportato nella premessa, in virtù della lunga "vita" prevista per la struttura del Deposito Nazionale, nell'ordine di secoli, per la qualificazione del sito definitivo si rendono indispensabili valutazioni su scenari futuri potenzialmente verosimili soprattutto per quelle componenti che, come nel caso dei parametri idrologici, possono essere particolarmente influenzate da modifiche future delle cosiddette *condizioni al contorno* sia naturali che antropiche (grandezze meteorologiche, antropizzazione, modificazione delle coperture e degli usi del suolo,...).

In generale, all'avvio della fase 3 si dovrà procedere ad un ulteriore arricchimento del database e ad analisi di maggior dettaglio per l'implementazione del modello idrologico elaborato durante la fase 2, in modo da inserire informazioni di maggior dettaglio per ottenere una rappresentazione a carattere semi-quantitativo. Il grado di approfondimento e di dettaglio può essere influenzato da diversi fattori (disponibilità di dati già elaborati, necessità di misurazioni dirette, numero dei siti oggetto di indagine, ecc.) e, qualora non sussistessero le condizioni, non è necessario raggiungere un livello di completezza analogo per ognuno dei siti studiati, ma deve comunque essere garantita l'affidabilità, l'autoconsistenza e la comparabilità dei database realizzati.

Oltre a quanto già indicato nella fase 2 si dovrà procedere a:

- ricostruire statisticamente e valutare in modo dettagliato i trend e i tempi di ritorno che le serie di dati idrologici e le alluvioni passate potrebbero presentare;
- effettuare un'analisi di dettaglio della documentazione tecnica e di pianificazione a livello comunale;
- condurre una valutazione preliminare del bilancio idrico dell'area, con lo scopo di individuare i comparti ed i processi più influenti, soprattutto in virtù delle analisi a lungo termine;
- eseguire una modellazione idraulica semi-quantitativa preliminare prendendo in considerazione tutti gli apporti di acqua possibili (precipitazioni, *runoff*, cedimenti di strutture di contenimento, frane, ecc.) al fine di effettuare una prima valutazione delle eventuali condizioni di potenziale alluvionabilità residua del sito;
- effettuare analisi di sensibilità sul modello per individuare i parametri più influenti al fine di indirizzare e definire in modo più efficace le indagini successive e i piani di monitoraggio.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



La fase successiva deve prevedere la predisposizione e l'avvio del piano di monitoraggio definitivo, ponendo particolare attenzione agli strumenti utili per la misura di quei parametri che durante le analisi di sensibilità effettuate nelle fasi precedenti hanno dimostrato di influenzare maggiormente i risultati finali delle modellizzazioni o che non sono stati ritrovati durante le ricerche bibliografiche. Tutti gli studi, le analisi e le misurazioni *in situ* dovranno essere eseguiti nel rispetto delle norme, raccomandazioni o specifiche tecniche eventualmente previste e che SOGIN indicherà nel Piano e programma delle indagini tecniche da sottoporre all'Autorità di Controllo (ISIN) come stabilito al comma 10 dell'art. 27 del D.Lgs 31/2010 e ss.mm.ii.

Quest'ultima fase del processo di caratterizzazione deve fornire tutte le informazioni e i dati necessari per la qualificazione definitiva del sito. In generale, come per tutti gli ambiti di caratterizzazione, si dovrà procedere ad una raccolta di dati il più completa e dettagliata possibile, al sito e nel suo intorno significativo, che dovrà permettere una rappresentazione realistica e affidabile delle caratteristiche originali della porzione di territorio individuata e costituirà la base per la determinazione dei parametri di progetto e per l'elaborazione dell'analisi di sicurezza.

Ad integrazione dei dati già raccolti nelle fasi precedenti del processo, si dovranno ottenere valori e caratteristiche dettagliate relative alle seguenti componenti:

- grandezze meteorologiche (vedi relativo ambito di caratterizzazione);
- confini precisi dei bacini imbriferi;
- topografia dettagliata dell'area di sito e dell'intorno significativo (vedi relativo ambito di caratterizzazione) e sua variazione durante le fasi pre-costruttiva, costruttiva e operativa del Deposito;
- caratteristiche del territorio compreso entro i confini del bacino quali la copertura del suolo, l'uso del suolo, le asperità ad esso associate, la copertura vegetazionale, ...
- grandezze fisiche per la parametrizzazione degli elementi idraulici presenti (canali, fossi, fiumi, laghi, ...) tramite la misurazione di (vedi ad es. ISPRA, 2010b):
  - livelli e/o velocità dell'acqua in sezioni di misura appositamente predisposte;
  - velocità dell'acqua e della portata in corsi d'acqua naturali o in canali artificiali;
  - pendenza del fondo e della superficie libera dell'acqua in specchi d'acqua, corsi d'acqua naturali o in canali artificiali;
  - superfici di sezioni di corsi d'acqua naturali o di canali artificiali;
  - piene;
  - portata solida (in sospensione, in soluzione, sul fondo);
- parametri di progetto delle strutture ingegneristiche di sbarramento o contenimento, o idrauliche in generale, presenti o previste.

Il piano di indagini deve essere progettato e realizzato in modo di riuscire a rilevare e rappresentare nel modo più fedele possibile la variabilità sia spaziale che temporale delle condizioni locali presenti al sito da caratterizzare e nel suo intorno idrologicamente significativo. Sulla base dei dati sopra elencati, dovranno essere effettuate diverse elaborazioni, perlopiù tramite modelli numerici, con due scopi principali: la definizione dell'eventuale grado di pericolosità idraulica residua

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



presente al sito (e quindi gli effetti che essa potrebbe avere sulla capacità di confinamento) e l'influenza del "comparto" idraulico sulla dispersione dei radionuclidi nell'ambiente.

In riferimento al primo aspetto, se necessario, si dovrà procedere all'elaborazione di modelli numerici per la valutazione completa della pericolosità idraulica, in particolare relativa al verificarsi di eventi alluvionali, alle loro dimensioni e tempi di ricorrenza, siano essi causati da forti precipitazioni, da cedimenti di opere di contenimento, da sbarramenti di corsi d'acqua (frane, accumulo di materiale, ecc.) o da una combinazione di cause. Per quanto riguarda l'analisi di sicurezza e, in particolare, per fornire dati fondamentali per la ricostruzione delle vie di dispersione dei radionuclidi, dei tassi e delle velocità di migrazione è indispensabile effettuare una caratterizzazione dettagliata delle componenti che entrano a far parte del bilancio idrico al sito, ponendo particolare attenzione alla stagionalità (TecDoc 1199, 2011a): a seconda delle caratteristiche del sito e delle necessità si dovranno quindi definire valori relativi a portate, livelli idrometrici, tassi di infiltrazione, quantità di acqua utilizzata per scopi antropici, precipitazioni, evapotraspirazione, capacità di ritenzione del suolo, temperature, ecc., e l'insieme dei dati sperimentali dovrà essere integrato nel modello idrogeologico.

Per la corretta caratterizzazione di un sito è necessario considerare la vita operativa dell'infrastruttura ospitata. Il Deposito Nazionale ha una vita programmata nell'ordine dei secoli ed è per questo motivo che è indispensabile elaborare tutte le proiezioni di scenario, che devono essere definite soprattutto sulla base di quei parametri che potrebbero mostrare le variazioni più significative, rispetto ad una scala temporale appropriata. I parametri idrologici sono rappresentati da valori che potrebbero subire grandi variazioni poiché dipendenti dal contesto meteorologico e climatico, e di conseguenza potrebbero essere fortemente influenzati dai cambiamenti climatici globali e locali attualmente in atto (ad esempio: precipitazioni più intense e concentrate nel tempo, tornado, bombe d'acqua ed eventi meteorologici estremi in generale). Lo studio degli scenari futuri risulta importante per le valutazioni relative alla sicurezza nella fase di controllo istituzionale e dopo la chiusura della struttura, per analizzare, seppur con un sensibile livello di incertezze associate, le possibili evoluzioni del comparto ambientale in cui il Deposito si trova. Questa tipologia di modellizzazione deve essere continuamente aggiornata sulla base dei dati raccolti nel tempo al fine di diminuire l'incertezza associata e, sulla base del confronto dei risultati ottenuti con i dati raccolti inizialmente nella fase pre-costruttiva e i dati raccolti a livello regionale, procedere ad eventuali revisioni.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La caratterizzazione idrologica ha due obiettivi principali:

1. la definizione dell'eventuale presenza e del livello di *pericolosità idraulica residua* al sito, valutando gli effetti che, in caso di evento pericoloso, potrebbero influenzare la capacità di isolamento del sistema Ambiente-Deposito Nazionale;
2. la ricostruzione del comparto idrologico presente al sito e nel suo intorno significativo per l'individuazione delle vie e delle modalità di dispersione e trasporto dei radionuclidi ai fini dell'analisi di sicurezza.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Le tipologie di analisi sopra indicate devono essere effettuate con livelli di approfondimento crescente a seconda della tipologia di risultati attesi nei vari *step* del processo di caratterizzazione e prevedendo, per il sito definitivo, la considerazione dei possibili scenari futuri che potrebbero instaurarsi e gli effetti che potrebbero avere sulle strutture e sulla salute.

Nelle tabelle seguenti si riassumono, per le diverse fasi, alcune delle indagini ed elaborazioni necessarie per la caratterizzazione e i prodotti finali attesi (il seguente elenco, non essendo riferito ad un contesto ambientale definito, può non essere esaustivo e dovrà essere integrato all'avvio delle attività di caratterizzazione per la qualificazione del sito indicato per la localizzazione del Deposito).

FASE 2	
Pianificazione del programma delle attività	
<b>Indagini</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indagini aerofotogrammetriche</li> <li>• Raccolta dati bibliografici disponibili</li> <li>• Raccolta dati meteorologici e idrologici (da stazioni e/o da documentazioni)</li> <li>• Sopralluoghi preliminari di campo finalizzati alla caratterizzazione delle aree</li> </ul>
<b>Elaborazioni</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definizione del contesto territoriale (uso del suolo, livello di antropizzazione, ecc.) e geomorfologico (pendenze, depressioni, ecc.) dell'area di interesse e del suo intorno significativo</li> <li>• Carte idrologiche preliminari</li> <li>• Analisi ed elaborazioni statistiche sulle serie di dati idrometrici disponibili</li> </ul>
<b>Prodotti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serie temporali complete ed omogenee per i siti selezionati</li> <li>• Analisi qualitativa per la valutazione del potenziale di alluvionamento o ristagno</li> <li>• Progetti preliminari dei piani di monitoraggio all'interno dei siti individuati</li> </ul>

FASE 3	
Pianificazione del programma delle attività	
<b>Indagini</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrazione dei dati registrati da stazioni esistenti selezionate e dei dati relativi ai siti e al loro intorno significativo</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>IN PRESENZA DEL SITO DEFINITIVO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Progettazione finale e realizzazione del piano di monitoraggio</li> <li>• Raccolta dati tramite strumenti di monitoraggio</li> <li>• Ricerca dei modelli numerici e individuazione dei più adatti</li> </ul>
<b>Elaborazioni</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ricostruzione e validazione delle nuove serie temporali dei dati raccolti</li> <li>• Analisi statistiche e quali-quantitative per la scelta del sito definitivo</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>IN PRESENZA DEL SITO DEFINITIVO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parametrizzazione completa degli elementi idraulici al sito</li> <li>• Analisi statistiche incentrate sui <i>trend</i> temporali</li> <li>• Valutazione completa della pericolosità idraulica</li> <li>• Definizione degli scenari climatici e selezione dei codici di calcolo più appropriati</li> </ul>
<b>Prodotti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piano di monitoraggio attivo</li> <li>• Caratterizzazione dei parametri utili al progetto e alla valutazione della sicurezza e definizione dei loro valori e della loro variabilità a lungo termine (almeno 300 anni)</li> </ul>

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 5.9 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA

L'ambito di caratterizzazione relativo alle caratteristiche climatiche e meteorologiche fa riferimento al criterio di approfondimento CA6 della GT29, in cui viene richiesto di porre attenzione e di approfondire i regimi pluviometrico, nivometrico e anemometrico e di analizzare gli eventi meteorologici estremi che potrebbero determinare effetti al sito.

Secondo quanto riportato dalla guida IAEA SSG-29, la meteorologia di un sito dovrebbe essere caratterizzata al fine di poter tenere adeguatamente in considerazione, nelle fasi di progettazione e *licensing* del Deposito, gli effetti derivanti da condizioni meteorologiche inattese ed estreme; in particolare, la selezione del sito definitivo deve essere basata principalmente su dati relativi alle precipitazioni, alle condizioni di dispersione in caso di rilascio accidentale (basandosi ad esempio sulla caratterizzazione dei venti) e a fenomeni meteorologici estremi, che devono essere analizzati con un grado di approfondimento crescente e ad una scala di dettaglio sempre maggiore, come descritto nel presente documento. In accordo con la SSG-29 e con altre norme e guide IAEA (in particolare NS-G-1.5 e SSG-18) e con le esperienze internazionali, l'obiettivo principale della caratterizzazione meteorologica è quindi quello di valutare le condizioni climatiche estreme, le loro variazioni e gli effetti che, nel tempo, esse potrebbero avere sull'ambiente naturale e sul Deposito, così da poterle tenere in considerazione nella progettazione delle strutture al fine di garantire il mantenimento dell'isolamento dei rifiuti dall'ambiente esterno e le condizioni di sicurezza.

Il processo di caratterizzazione ha quindi due obiettivi principali:

- la determinazione della probabilità di accadimento di eventi atmosferici estremi (alluvioni, tornado, ecc.) e il loro potenziale impatto sulle strutture e sull'ambiente;
- la valutazione degli effetti degli eventi meteo-climatici sull'eventuale dispersione di radionuclidi nell'ambiente.

In virtù delle caratteristiche e delle finalità della struttura del Deposito Nazionale, tutte le valutazioni devono essere effettuate sul medio-lungo periodo e, per quanto riguarda il presente ambito, i parametri di interesse devono essere caratterizzati anche tenendo conto dell'evoluzione futura dell'assetto climatico terrestre. Gli effetti derivanti dai cambiamenti climatici infatti non interessano solo scenari evolutivi più estremi, come ad esempio il drastico aumento del processo di desertificazione o il ritorno di glaciazioni come avvenuto nel passato, ma anche eventi meno rilevanti a scala globale che a scala regionale o locale possono avere effetti marcati sull'evoluzione dell'ambiente, come ad esempio la variazione dell'intensità delle precipitazioni e della loro distribuzione temporale che si ripercuote sulle dinamiche degli eventi alluvionali e, di conseguenza, sui fenomeni erosivi e di modificazione del territorio e sui deflussi idrici sotterranei.

I dati meteorologici costituiscono inoltre una parte fondamentale del database di input della maggior parte dei codici di modellizzazione ambientale e costruttiva, ad

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



esempio per la ricostruzione dei flussi idrici sotterranei e di quelli superficiali, per la previsione delle modificazioni naturali del territorio, o per la progettazione ingegneristica e per la valutazione della sicurezza, come ad esempio la modellizzazione dell'infiltrazione o del tasso di erosione della copertura finale o il potenziale trasporto e dispersione nell'ambiente di radionuclidi qualora si verificasse una loro fuoriuscita dalla struttura.

Con lo scopo di avere una sempre più completa ed affidabile valutazione dell'evoluzione naturale dell'ambiente ma soprattutto della potenziale dispersione di radionuclidi nell'ambiente, è di fondamentale importanza lo sviluppo di un efficace piano di monitoraggio continuo e a lungo termine dei parametri meteo-climatici, sia nelle fasi proprie di caratterizzazione ai fini della qualificazione del sito finale sia durante l'esercizio del Deposito Nazionale.

Di seguito si riporta uno schema concettuale in cui vengono individuate, secondo le fasi di approfondimento continuo indicate nella GT29, le principali componenti del processo di caratterizzazione meteo-climatica, che verranno descritte in maggior dettaglio nei paragrafi seguenti.

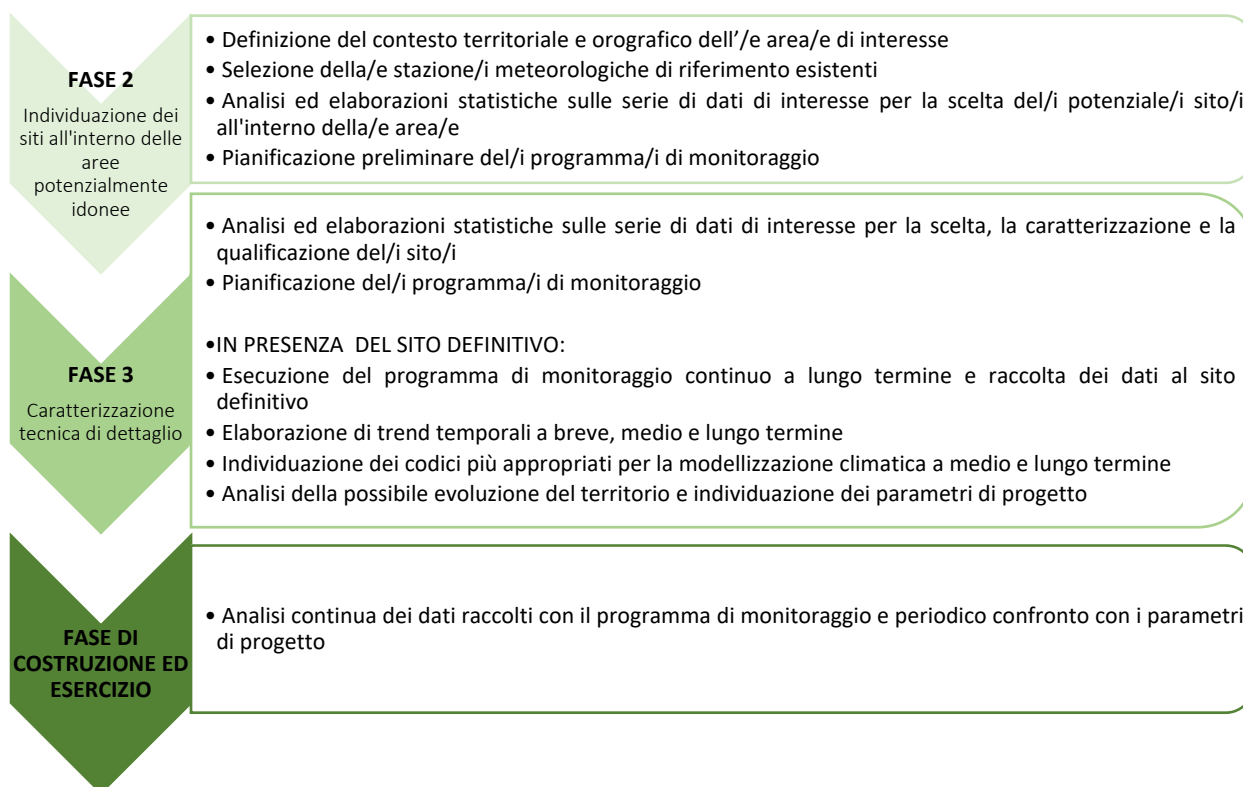


Figura 5.10 - Principali componenti del processo di caratterizzazione meteo-climatica del sito.

Ogni fase della caratterizzazione si basa su un database che sarà via via caratterizzato da maggiore completezza, precisione e qualità.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## **CARATTERIZZAZIONE METEO-CLIMATICA NELLA FASE 2 GT29 - INDIVIDUAZIONE, NELLE AREE POTENZIALMENTE IDONEE DEI SITI DA SOTTOPORRE AD INDAGINI DI DETTAGLIO**

L'obiettivo principale di questa fase è ricostruire le serie climatiche storiche e i loro *trend* temporali, individuare quegli eventi considerati *estremi* che potrebbero interessare i possibili siti e fornire i primi dati di base preliminari per una valutazione speditiva dei flussi idrici superficiali e sotterranei, della loro stagionalità e delle vie di diffusione dei radionuclidi in caso di rilascio accidentale.

Come indicato nello schema sopra riportato, il punto di partenza per la caratterizzazione meteo-climatica deve essere la definizione del contesto geografico e territoriale in cui le aree di interesse ricadono. La successiva raccolta dei dati deve essere estesa ad un'area la cui estensione dipende dal contesto territoriale su cui insisteranno le strutture del Deposito e dovrà essere rappresentativa per le tipologie di eventi che, verosimilmente, potranno influenzare il sito. Sulla base di tali considerazioni, dovranno quindi essere selezionate le stazioni meteorologiche che possono essere considerate sufficientemente rappresentative delle condizioni climatiche delle aree studiate, anche se posizionate al di fuori delle stesse. La scelta delle stazioni non può inoltre prescindere dalla quantità di dati e dall'affidabilità delle serie temporali dei dati registrati, i quali dovranno essere sottoposti a procedure di validazione per un sistematico controllo di qualità basato principalmente su completezza e congruenza, sia temporale che spaziale, dei valori misurati (ad es. ISPRA, 2012; ISPRA, 2013a).

Le serie di dati dovrebbero essere analizzate sulla base di diverse scale temporali (annuale, mensile, giornaliera, oraria e sub-oraria) ognuna delle quali fornisce indicazioni differenti: l'analisi a scala annuale evidenzia variazioni di lungo periodo e per settori territoriali più estesi, mentre l'analisi a scala mensile fornisce indicazioni sulle variazioni stagionali (di fondamentale importanza nel caso degli studi e delle valutazioni idrologiche e idrogeologiche); a scala giornaliera, prendendo in considerazione anche intervalli orari e sub-orari, possono essere analizzati singoli eventi meteorologici, evidenziando caratteristiche e frequenza dei fenomeni più brevi e/o *estremi*.

I principali parametri di interesse, per cui devono essere analizzate ed elaborate le serie temporali disponibili, in questa fase della caratterizzazione sono:

- distribuzione delle velocità e delle direzioni dei venti dominanti;
- valori estremi di temperatura, velocità del vento, precipitazioni;
- valutazione preliminare della variabilità stagionale, mensile e annuale delle precipitazioni e delle temperature;
- radiazione solare incidente;
- umidità relativa;
- classi di stabilità atmosferica;
- altezza di rimescolamento (se disponibile);
- fenomeni meteorologici estremi (tornado, alluvioni, forti tempeste, ...).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



La valutazione di tutti gli aspetti sopra indicati può costituire una buona base di partenza per la progettazione preliminare dei piani di monitoraggio utili per integrare i dati nella fase pre-operativa del Deposito e per proseguire le indagini anche durante l'esercizio dello stesso, piani che avranno caratteristiche differenti a seconda del sito specifico in cui dovranno essere realizzati.

L'analisi delle serie riferite ai parametri sopra riportati, unitamente alla morfologia del territorio e a come questa influenzi il contesto climatico, alla valutazione generale delle direzioni predominanti dei venti (se tendono verso le aree più antropizzate ad esempio), al bilancio idrico preliminare e al grado di complessità del piano di monitoraggio previsto, costituiscono i principali fattori che possono contribuire a scelte di tipo progettuale.

### **CARATTERIZZAZIONE METEO-CLIMATICA NELLA FASE 3 GT29 – CARATTERIZZAZIONE TECNICA DI DETTAGLIO DI UNO O PIÙ SITI, IN PARTICOLARE PER QUANTO RIGUARDA IL COMPORTAMENTO NEL LUNGO TERMINE**

L'obiettivo finale di questa fase di indagine è la caratterizzazione meteo-climatica a lungo termine del sito definitivo, al fine di ottenere, per i parametri meteorologici di interesse, valori, o serie di valori, utili per la modellizzazione ambientale e la progettazione ingegneristica. Una scala temporale di riferimento ampia e proiettata nel futuro è necessaria in virtù delle caratteristiche proprie del Deposito Nazionale che presenta una vita progettata nell'ordine di secoli: tale caratteristica rende indispensabile, per questo ambito di caratterizzazione, considerare le variazioni climatiche in atto poiché esse potrebbero avere effetto su diversi aspetti dell'ambiente naturale e, di conseguenza, avere un impatto sul comportamento complessivo della struttura.

La fase 3 può essere suddivisa in due stadi rispettivamente corrispondenti al “*site investigation*” e “*detailed site characterization stage*” riportati nella SSG-29 (2014). Le prime valutazioni da effettuare durante questa fase dal punto di vista metodologico sono confrontabili con quelle descritte nella fase 2, anche se devono essere effettuate con un maggiore grado di approfondimento. In particolare si deve procedere con un'analisi statistica più approfondita, soprattutto riferita ai valori estremi (vedi ad es. ISPRA, 2013b; ETCCDI (<https://www.wcrp-climate.org/etccdi>)) e deve essere effettuata una valutazione più attenta dei parametri di diffusione che potrebbero influenzare e condizionare una eventuale dispersione di radionuclidi nell'ambiente, come ad esempio le direzioni dei venti dominanti, le loro classi di velocità, la frequenza delle calme di vento, gli indicatori di turbolenza atmosferica, le precipitazioni, la temperatura atmosferica, l'umidità (SSG-35 – IAEA, 2015).

In seguito sarà necessario delineare il piano di monitoraggio definitivo e procedere ad installare quanto prima gli strumenti di misurazione dei parametri meteorologici (vedi ad es. WMO, 2010); le serie di dati e di misure relative al sito definitivo, estese per un periodo di tempo significativo, andranno confrontate e integrate alle serie registrate dalle stazioni meteorologiche esistenti per una caratterizzazione più dettagliata e precisa (da implementare continuamente anche durante la fase operativa del Deposito) e per controllare in modo continuo i parametri che

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



potrebbero influire sulle modalità di dispersione dei radionuclidi in caso di una loro fuoriuscita. Per rendere possibile l'integrazione e il confronto tra le serie di dati, i parametri meteorologici devono essere misurati in modo da garantire la compatibilità con i valori precedentemente rilevati e, per quanto possibile, assicurare l'omogeneità delle serie storiche.

I parametri meteorologici da misurare al sito hanno principalmente due fini: fornire dati utili alla progettazione ingegneristica e fornire parte dei dati di base per la modellizzazione del comportamento dei radionuclidi nell'ambiente in caso di rilascio accidentale. Nel dettaglio i parametri specifici più significativi al sito sono (vedi ad es. SSG-18, SSG-35, NUREG-1388):

- per quanto riguarda la progettazione:
  - valori estremi di velocità del vento, di temperatura e di precipitazioni;
  - frequenza di eventi estremi (tornado, alluvioni, forti tempeste, ecc.);
  - livello ceraunico.
- per quanto riguarda la modellizzazione della dispersione dei radionuclidi:
  - velocità, direzione e frequenza dei venti;
  - pressione atmosferica;
  - precipitazioni (pioggia, neve, grandine);
  - temperatura;
  - radiazione solare incidente;
  - umidità relativa;
  - tasso di evaporazione;
  - stabilità atmosferica.

Per la caratterizzazione del sito definitivo ai fini della sua qualificazione è fondamentale tenere in considerazione l'arco di tempo in cui la struttura sarà operativa che nel caso specifico del Deposito Nazionale corrisponderà a più di 300 anni (costruzione, esercizio, chiusura e successivo controllo istituzionale). Tale finestra temporale rende necessaria, per quanto possibile, una proiezione nel futuro di tutti i parametri e, come già accennato nella premessa, nel caso del presente ambito di caratterizzazione, rende necessario tenere in considerazione i cambiamenti climatici in atto, sia a scala globale che regionale che locale. Risulta quindi importante l'applicazione e l'analisi, di modelli fisico-matematici per la previsione degli scenari climatici futuri (a scala regionale) e per la conseguente valutazione a cascata di tutti gli effetti che essi potrebbero avere sul sito, dalla modificazione di intensità e frequenza di particolari eventi meteorologici alla trasformazione della morfologia dell'ambiente naturale.

Il punto di partenza di tali valutazioni è la definizione di possibili scenari climatici all'interno dei quali dovranno essere definiti dei fattori forzanti il cambiamento (ad esempio la componente umana con l'aumento della CO<sub>2</sub> di origine antropica in atmosfera). All'interno di queste analisi deve essere poi posta particolare attenzione sulle proiezioni relative a quei parametri che potrebbero mostrare le variazioni più significative e che potrebbero avere maggiori ripercussioni sulla sicurezza. Il potenziale impatto dei cambiamenti climatici sul sito deve quindi essere considerato principalmente in termini di possibilità di aumento di incidenza e intensità dei fenomeni meteorologici estremi, poiché sono gli eventi che, per loro natura,

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



possono produrre gli effetti più marcati e repentini sia sulle strutture che sulla conformazione del territorio.

I valori e le curve ottenute con l'applicazione di tali modelli devono poi essere analizzati dal punto di vista statistico, per poter effettuare previsioni utili ai fini progettuali (in particolare in termini di tempi di ritorno, che rappresentano un elemento progettuale di notevole importanza).

Una parte fondamentale di tali analisi è la trattazione delle incertezze associate all'applicazione dei modelli di previsione, in quanto parte delle relazioni intercorrenti tra i vari fattori incidenti sul clima non sono ancora ben conosciute, soprattutto perché nel passato non sembra essersi mai verificato uno scenario climatico comparabile all'attuale.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Secondo quanto riportato nei paragrafi precedenti, gli obiettivi principali della caratterizzazione meteo-climatica sono i seguenti:

- la costruzione del database necessario per l'applicazione dei modelli di valutazione della dispersione dei radionuclidi nell'ambiente e fornire valori utili alla progettazione delle strutture;
- la valutazione di come questi parametri potrebbero variare nel tempo in virtù dei cambiamenti climatici che stanno attualmente interessando la Terra e che la potranno interessare nei prossimi secoli.

Nelle tabelle seguenti si riassumono, per le diverse fasi, alcune delle indagini ed elaborazioni necessarie per la caratterizzazione e i prodotti finali attesi (il seguente elenco, non essendo riferito ad un contesto ambientale definito, può non essere esaustivo e dovrà essere integrato all'avvio delle attività di caratterizzazione per la qualificazione del sito indicato per la localizzazione del Deposito).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



FASE 2	
Definizione del programma delle attività	
<b>Indagini</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definizione del contesto territoriale e geografico di interesse</li> <li>Raccolta dei dati registrati da stazioni esistenti selezionate, vicine alle aree di interesse e con condizioni al contorno simili alle stesse</li> </ul>
<b>Elaborazioni</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ricostruzione e validazione delle serie temporali dei dati raccolti dalle stazioni selezionate</li> <li>Analisi preliminari di tipo statistico per l'individuazione dei parametri utili alla scelta di siti all'interno delle aree</li> </ul>
<b>Prodotti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Serie temporali complete ed omogenee per i siti selezionati</li> <li>Confronto tra le elaborazioni statistiche effettuate sui dati delle diverse stazioni</li> <li>Progetti preliminari dei piani di monitoraggio all'interno dei siti individuati</li> </ul>

FASE 3	
Definizione del programma delle attività	
<b>Indagini</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integrazione dei dati registrati da stazioni esistenti selezionate e dei dati relativi a eventi estremi verificatisi al sito o intorno ad esso</li> </ul> <p style="text-align: center;">IN PRESENZA DEL SITO DEFINITIVO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Progettazione finale e realizzazione del piano di monitoraggio</li> <li>Raccolta dati tramite il piano di monitoraggio</li> </ul>
<b>Elaborazioni</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ricostruzione e validazione delle nuove serie temporali dei dati raccolti dalle stazioni selezionate</li> <li>Analisi statistiche per la scelta del sito definitivo</li> </ul> <p style="text-align: center;">IN PRESENZA DEL SITO DEFINITIVO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Integrazione delle serie di dati con i valori registrati al sito attraverso il piano di monitoraggio</li> <li>Analisi statistiche incentrate sui <i>trend</i> temporali</li> <li>Definizione degli scenari climatici e selezione dei codici di calcolo più appropriati</li> </ul>
<b>Prodotti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Piano di monitoraggio attivo</li> <li>Caratterizzazione dei parametri utili al progetto e alla valutazione della sicurezza e definizione dei loro valori e della loro variabilità a lungo termine (almeno 300 anni)</li> </ul>

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 5.10 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – AGENTI FISICI

Le indagini e gli studi per la caratterizzazione del sito definitivo e del suo intorno significativo – finalizzati, come si è visto, alla sua *qualificazione* ai fini della valutazione di sicurezza, della progettazione definitiva, dell'avvio della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) e del programma di monitoraggio – devono consentire la descrizione quantitativa dello *stato di fatto* dei cosiddetti “agenti fisici” all'interno del territorio che sarà interessato dalla realizzazione del Deposito Nazionale e delle infrastrutture e interventi (strade, edifici, scavi, opere idrauliche, ecc.) ad esso connessi.

In generale per “agenti fisici” si intendono quei fattori, governati da leggi fisiche, che provocano una trasformazione delle condizioni ambientali in cui si manifestano; tali fattori, all'interno degli ambienti di vita e di lavoro, possono determinare condizioni potenzialmente dannose per la vita umana.

A titolo di esempio si riporta un elenco degli agenti fisici di interesse ambientale utilizzata da Arpav – Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto:

- *Radiazioni ionizzanti*: particelle e onde elettromagnetiche dotate di elevato contenuto energetico, in grado di rompere i legami atomici del corpo urtato e caricare elettricamente atomi e molecole neutri – con un uguale numero di protoni e di elettroni – ionizzandoli.
- *Radiazioni non ionizzanti*: sono forme di radiazioni elettromagnetiche – comunemente chiamate campi elettromagnetici – che, al contrario delle radiazioni ionizzanti, non possiedono l'energia sufficiente per modificare le componenti della materia e degli esseri viventi (atomi, molecole).
- *Rumore*: fenomeno acustico distinto dal suono perché generato da onde irregolari e non periodiche, percepite come sensazioni uditive sgradevoli e fastidiose.
- *Inquinamento luminoso*: irradiazione di luce artificiale – lampioni stradali, le torri faro, i globi, le insegne, ecc. – rivolta direttamente o indirettamente verso la volta celeste.

Nell'ambito del processo di qualificazione del sito la determinazione di tali aspetti caratteristici del sito, per quanto non direttamente connessi alla sicurezza (*non safety related criteria*), può determinare e indirizzare alcune scelte progettuali e di localizzazione.

In accordo con la normativa di settore, la definizione delle caratteristiche di base e l'installazione di sistemi di monitoraggio in continuo degli agenti fisici, costituirà la base per tutte le valutazioni di impatto relative al territorio ospite e agli ambienti di lavoro del Deposito Nazionale sia in fase costruttiva che in esercizio.

Nel capitolo 4 sono state definite le funzioni e i principi generali sulla base dei quali deve essere sviluppato il programma di monitoraggio per un deposito per rifiuti



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



radioattivi di tipo superficiale. Il Modello di Sito definisce il valore di riferimento (*baseline, punto zero o bianco*) di tutti quei i parametri la cui variazione potrebbe avere effetti sulla funzionalità e la sicurezza del Deposito e che dovranno essere oggetto di controlli periodici a breve e lungo termine.

Anche per quanto riguarda gli *agenti fisici*, il monitoraggio dovrà estendersi a tutti quei parametri, fenomeni o processi, la cui variazione rispetto alle condizioni iniziali, antecedenti alla costruzione del Deposito, potrebbe determinare effetti in un *intorno significativo* la cui estensione dovrà essere definita per ognuna delle componenti oggetto di controllo e in relazione alle caratteristiche dell'area di indagine.

### **Radiazioni Ionizzanti**

Il monitoraggio di riferimento (*baseline monitoring*) deve riferirsi anche alle caratteristiche di radioattività naturale e/o artificiale prima dell'inizio dei lavori; a tale scopo potranno essere utilizzate diverse tecniche: spettroscopia *airborne*, misure *in situ* e su campioni. Il monitoraggio di base, ripetuto ed esteso anche per diversi periodi prima dell'entrata in esercizio del deposito, consentirà di ottenere un modello di riferimento per il monitoraggio radiologico periodico successivo.

In accordo con la normativa vigente in materia dovrà essere svolta una campagna di analisi e indagini finalizzata alla determinazione dello "stato di fatto" della componente radiologica relativa alle matrici ambientali che possono determinare esposizione per l'uomo.

Un elenco puramente esemplificativo dei comparti ambientali e delle possibili matrici da investigare, è riportato di seguito (l'elenco, non essendo riferito ad un contesto ambientale definito, può non essere esaustivo e dovrà essere integrato all'avvio delle attività di caratterizzazione per la qualificazione del sito indicato per la localizzazione del Deposito):

- comparto suolo e sottosuolo – esempio matrici: *erba, terreno e acqua di falda*;
- comparto aria – esempio matrici: *particolato atmosferico e dose gamma*;
- comparto acqua – esempio matrici: *sabbia e sedimenti in acque dolci*;
- comparto agro-zootecnico – esempio matrici: *uova, carne, latte e vegetali in foglia di produzione locale*.

Al momento della individuazione definitiva del sito, dovranno essere stabilite in un *programma di caratterizzazione* specifico, la distribuzione e la quantità dei punti di analisi e prelievo, l'estensione del territorio e le matrici ambientali da investigare, la tipologia di misura e le tecniche più idonee, la necessità di ripetizione delle misure per intervalli di tempo più o meno prolungati, le modalità di trattamento e gestione dei dati di caratterizzazione.

In generale, le misure di radioattività in un'area priva di fonti artificiali di contaminazione, dovrebbero condurre alla misura della *radioattività naturale* (raggi cosmici; radioisotopi cosmogenici; radioisotopi primordiali - radiazione terrestre: U-

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



238, Th-232, K-40) cui si somma la *radioattività artificiale* conseguente al *fall out* legato a incidenti nucleari ed esperimenti bellici.

### **Radiazioni non Ionizzanti**

Il termine *Radiazioni Non Ionizzanti* (NIR) viene usato per indicare onde elettromagnetiche di bassa energia, ovvero energia non sufficiente a provocare la ionizzazione degli atomi attraversati. Sono forme di radiazioni elettromagnetiche (o campi elettromagnetici) che possiedono tuttavia l'energia sufficiente a provocare modifiche termiche, meccaniche e bioelettriche (effetti biologici) nella materia costituente gli organismi viventi.

Al fondo naturale di radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti dovuto alle emissioni del sole, della terra stessa e dell'atmosfera, si aggiunge il contributo legato alle attività antropiche riferibili, ad esempio, alla presenza di numerose sorgenti sia in ambiente interno che in ambiente esterno (elettrodotti e impianti di radio-telecomunicazione).

Le radiazioni elettromagnetiche appartengono al gruppo delle radiazioni non ionizzanti (NIR); in ambito tecnico-normativo per radiazioni non ionizzanti si intendono generalmente quei campi elettromagnetici (o CEM) corrispondenti alla sezione non ottica. A tale proposito si può far riferimento ad una suddivisione del campo elettromagnetico in due classi, che presentano caratteristiche, effetti sull'uomo e modalità di misura differenti, individuate in base al contenuto in frequenza del segnale:

- intervallo delle frequenze industriali (basse e bassissime frequenze, da qualche Hz a 100 kHz), all'interno del quale è compreso il valore della frequenza della rete di distribuzione di energia elettrica (50 Hz);
- intervallo delle frequenze per comunicazioni (alte frequenze, da 100 kHz a 300 GHz), all'interno del quale sono comprese le frequenze radio, quelle televisive e quelle della telefonia mobile.

Una campagna di indagine per la determinazione dello stato di fatto relativo alle radiazioni non ionizzanti nel sito del Deposito Nazionale, dovrà prevedere la descrizione di tutti i principali indicatori (sviluppo in chilometri delle linee elettriche suddivise per tensione, in rapporto alla superficie territoriale; densità impianti e siti per radiotelecomunicazione e potenza complessiva in rapporto alla superficie territoriale) allo scopo di quantificare le fonti principali di pressione sull'ambiente per quanto riguarda i campi a bassa frequenza (ELF) e radiofrequenza (RF), nonché contemplare l'esecuzione di un numero adeguato di misure con strumentazioni adatte ai diversi campi di frequenza. Anche per quanto attiene alle radiazioni non ionizzanti la costruzione del Deposito Nazionale potrebbe condurre ad una variazione dello stato di fatto, ad esempio modificando la distribuzione delle sorgenti (elettrodotti, impianti di telefonia, ecc.).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



### **Rumore**

Per quanto attiene alla componente rumore, le attività di caratterizzazione del sito del Deposito Nazionale, devono condurre alla descrizione del *clima acustico* presente nell'area prima dell'inizio delle indagini e dei lavori di costruzione, con l'obiettivo primario di valutare i livelli di pressione sonora esistenti, individuando al tempo stesso i ricettori sensibili esistenti nel territorio.

Il seguente elenco schematico, descrive i principali elementi che devono costituire la campagna di studio e caratterizzazione del sistema ambientale *ante operam* per quanto attiene alla componente rumore:

- analisi del contesto ambientale e descrizione del territorio
- inquadramento normativo e pianificatorio
- classificazione acustica del territorio comunale dei Comuni interessati (piani comunali di classificazione o zonizzazione acustica)
- descrizione delle sorgenti di rumore e valori limite corrispondenti
- eventuale presenza di opere di mitigazione acustica (ad esempio: stato di attuazione dei Piani di risanamento Comunali e/o dei Piani di contenimento e abbattimento del rumore; infrastrutture con opere di abbattimento del rumore)
- censimento dei ricettori
- misure di rumore ambientale; rilievi di traffico
- rappresentazione del *clima acustico ante operam* (cartografie, rappresentazioni 3D)

La caratterizzazione acustica del territorio in cui sarà inserito il sito in tempi antecedenti alle fasi di caratterizzazione, costruzione ed entrata in esercizio, consentirà di valutare preliminarmente il potenziale impatto acustico dell'infrastruttura in termini di effetti sullo *stato di fatto*, indirizzando la progettazione di eventuali sistemi di controllo *in continuo* esterno delle emissioni sonore (soprattutto durante le fasi di cantiere).

### **Inquinamento luminoso**

L'inquinamento luminoso può essere definito come una alterazione della quantità naturale di luce presente nell'ambiente notturno provocata dall'immissione di luce artificiale. Le sorgenti delle immissioni inquinanti sono per lo più gli impianti di illuminazione esterna notturna.

Analogamente al rumore, la definizione delle caratteristiche di illuminazione notturna di un territorio e l'esistenza di eventuali classificazioni del territorio rispetto alla vulnerabilità da inquinamento luminoso con l'individuazione di settori di protezione, costituisce un approfondimento indispensabile per la descrizione *ante operam* del contesto del sito del Deposito. Per la definizione del livello di inquinamento luminoso esistono varie tecniche e strumenti che prevedono misure da terra e da satellite (misure fotometriche di brillantezza), oltre che strumenti di valutazione e modellazione basati sulle caratteristiche degli impianti di illuminazioni esistenti.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 5.11 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – ASPETTI NATURALISTICI

L'ambito di caratterizzazione naturalistico è uno degli elementi da analizzare nel processo di localizzazione di un deposito nazionale di rifiuti radioattivi. Tale ambito è riferibile all'indicazione generale IAEA riportata nella SSG-29 (2014): *“The site should be located so that the environment will be adequately protected for the entire lifetime of the facility and so that potential adverse impacts can be mitigated to an acceptable degree, technical, economic, social and environmental factors being taken into account. Near surface disposal facilities should comply with the requirements for protection of the environment”*. Le linee guida GT29 ISPRA (2014) hanno recepito tale indicazione individuando due criteri specifici per l'ambito in esame: il criterio di esclusione CE11 ed il criterio di approfondimento CA10.

Il primo, il criterio CE11, prevede l'esclusione delle aree naturali protette ai sensi di legge, specificando che:

*“Sono quelle aree ove sono presenti paesaggi, habitat e specie animali e vegetali tutelati: parchi nazionali, regionali e interregionali, riserve naturali statali e regionali, oasi naturali, geoparchi, Siti di Importanza Comunitaria (SIC), Zone di Protezione Speciale (ZPS) e zone umide identificate in attuazione della Convenzione di Ramsar”* (ISPRA, 2014).

Il criterio di approfondimento CA10 chiede di valutare la presenza di *habitat* e specie animali e vegetali di rilievo conservazionistico nonché di geositi, specificando che:

*“Si deve tenere conto, esternamente alle aree naturali protette di cui al criterio CE11, degli Allegati delle Direttive 92/43/CEE e 2009/147/CEE per habitat e specie animali e vegetali e della banca dati ISPRA per i Geositi. In fase di caratterizzazione si deve inoltre tener conto della eventuale presenza di specie a rischio segnalate nelle Liste Rosse della Flora e della Fauna Italiane (International Union of Conservation of Nature - IUCN)”* (ISPRA, l.c.).

Tutte le aree ricadenti nel criterio CE11 sono state tenute in considerazione nell'individuazione delle aree potenzialmente idonee, mentre il criterio CA10 è stato preso in considerazione solo parzialmente, per la mancanza di dati di dettaglio che, invece, saranno raccolti ed analizzati nelle Fasi 2 e 3 della procedura di localizzazione e caratterizzazione ai fini della qualificazione.

Come si evince quindi dalle note precedenti e dalle Guide IAEA SSG-29 e SSG-35 (2014), il Deposito Nazionale dovrebbe essere localizzato in modo che l'ambiente sia adeguatamente salvaguardato e che i potenziali impatti negativi siano ridotti ad un livello accettabile, sotto gli aspetti tecnico, economico, sociale ed ambientale. L'impatto ambientale dovrà considerare la valutazione dei potenziali impatti radiologici sull'ambiente, dovuti alle normali operazioni di esercizio ed a condizioni potenziali di incidente.

Nel processo di analisi si dovrà tenere conto, inoltre, degli impatti che la componente naturale stessa potrà avere sul deposito in fase di esercizio e dopo la sua chiusura.

Per la componente in esame, la Fase 2 comprenderà, oltre ad un'analisi regionale degli elementi naturalistici caratterizzanti le aree, anche uno *screening* delle aree

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



sulla base degli elementi di pianificazione, presenti nel territorio indagato, che approfondiscono gli elementi naturalistici di rilievo. Ad esempio, si dovranno consultare i Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale, le Reti Ecologiche provinciali o locali, inserite o meno negli strumenti di pianificazione vigenti, il Piano Regolatore Comunale/Piano Strutturale Comunale. Tali strumenti potrebbero, infatti, definire aree di protezione istituite a livello locale che non si è potuto analizzare nella Fase 1 di *Conceptual and Planning Stage*.

La fase di caratterizzazione (Fase 3) comprenderà una serie di indagini naturalistiche di approfondimento sulle specie, gli *habitat* ed ecosistemi presenti nel territorio di indagine, compresa una mappatura della copertura del suolo, della vegetazione e della fauna. Tali approfondimenti si renderanno necessari al fine di ottenere informazioni specifiche sul territorio indagato.

Dopo l'individuazione del sito definitivo, si approfondiranno gli aspetti naturalistici di sito, secondo quanto riportato in dettaglio nel paragrafo relativo alla descrizione della Fase 3 dell'ambito naturalistico.

Tutte le informazioni raccolte potranno essere utilizzate per ripermire o escludere alcune aree, sostenere e confermare le valutazioni del piano della sicurezza, degli studi di progettazione o per avvalorare ulteriormente l'opzione prescelta. A tal fine le informazioni confluiranno nel SIDEN (Sistema Informativo del DEposito Nazionale) che accoglierà tutti i dati raccolti e prodotti nell'ambito in esame (e negli altri ambiti); parte di tali dati potranno essere utilizzati per costruire un modello di valutazione della biosfera, da utilizzare per simulare il trasporto e l'accumulo dei radionuclidi nella stessa. Tale modello sarà affinato via via che si renderanno disponibili i dati naturalistici di dettaglio e sarà utilizzato, congiuntamente agli altri modelli di ambito, per affinare progressivamente le analisi sulla sicurezza dei siti o del sito.

In generale, per tutta la durata del processo di caratterizzazione si dovrà tenere conto, ai fini della corretta pianificazione delle indagini, dei possibili impatti che un deposito superficiale può avere sull'ambiente, secondo quanto raccomandato dalla GT 29 ISPRA e dalla Guida IAEA SSG-29.

In riferimento agli obiettivi principali esposti precedentemente, prima di iniziare tutti gli studi e le analisi andrà definito un programma di indagini della componente naturalistica. Oltre a fornire una descrizione delle caratteristiche attuali del territorio in esame, il programma di caratterizzazione dovrà raccogliere e interpretare le informazioni attuali e passate sull'area indagata. Tali informazioni dovranno essere utilizzate per elaborare scenari previsionali della evoluzione naturale del luogo e per valutare la rilevanza di caratteristiche, eventi e processi che potrebbero influenzare le prestazioni del deposito, comprese le interazioni tra componenti naturali e ingegneristiche.

Tuttavia, nell'elaborazione dei possibili scenari evolutivi futuri si dovrà tener conto dell'evoluzione passata e della situazione attuale dell'area, così come dei potenziali effetti delle attività umane presenti e future.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



I compiti principali del programma saranno:

- caratterizzare le condizioni degli ecosistemi nelle zone indagate,
- raccogliere dati rilevanti per la valutazione della sicurezza e della progettazione,
- ottenere una comprensione generale degli ecosistemi dell'area in esame in modo da essere in grado di sviluppare e giustificare modelli descrittivi e previsionali.

Durante la Fase 2 sarà avviato anche il programma di monitoraggio ambientale, definito sulla base dei risultati delle analisi e dei rilievi effettuati sulla componente ambientale.

Come riportato nella Guida IAEA RS-G-1.8 (2005), uno dei principali obiettivi del programma di monitoraggio è quello di verificare le ipotesi e convalidare i risultati dell'analisi della sicurezza.

Il monitoraggio ambientale dovrà essere progettato anche per individuare eventuali rilasci di radionuclidi nell'ambiente durante la fase operativa del deposito e nel periodo di controllo istituzionale. In questa fase, si renderà necessario integrare anche i dati raccolti negli altri ambiti di caratterizzazione (come la meteorologia, l'idrologia, caratteristiche idrobiologiche per l'ambiente acquatico, la distribuzione della popolazione, i tassi di consumo di prodotti alimentari, i fattori di occupazione e l'uso del suolo) e metterli a sistema, per poter stabilire la rete complessiva di monitoraggio (infatti ogni singola componente indagata è strettamente correlata ed interagente con le altre) ed il sistema di campionamento ambientale, comprensivo di cronoprogramma delle attività.

In riferimento al monitoraggio del sistema ambientale, con particolare riguardo agli aspetti naturalistici, sarà importante definire, secondo quanto riportato nella Guida IAEA RS-G-1.8:

- le componenti naturali e artificiali dell'ambiente che potrebbero essere interessate da eventuali rilasci di radionuclidi (ad esempio le comunità vegetali ed animali, ecc.);
- le caratteristiche ecologiche degli eventuali corpi idrici limitrofi al sito (ad esempio la sua fauna e la flora, la variabilità annuale, lo stato di eutrofizzazione e i cambiamenti attesi negli ecosistemi).

Il programma di monitoraggio in fase pre-operativa dovrebbe anche identificare gli organismi utili come indicatori ambientali della presenza di eventuali radionuclidi. La realizzazione di modelli di valutazione degli ecosistemi potrà essere utile per il monitoraggio ambientale stesso.

Sarà opportuno e propedeutico alla pianificazione del monitoraggio lo studio progettuale di una infrastruttura tecnologica dedicata in modo specifico alla conservazione dei campioni ambientali rappresentativi dei *biota*, presenti



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



nell'ambiente in cui sarà inserito il Deposito Nazionale, per la caratterizzazione e la previsione dell'evoluzione degli *habitat* e degli ecosistemi.

Questa infrastruttura, definibile come "Osservatorio permanente dell'Ambiente" (prendendo spunto dall'esperienza francese dove è già attiva un'installazione di questo tipo<sup>9</sup>), aiuterà a qualificare gli indicatori fisici, chimici, biologici e sociologici utili per individuare ed interpretare gli eventuali cambiamenti socio-ambientali a seguito della realizzazione del Deposito Nazionale e nei secoli successivi.

Si specifica che quanto contenuto nel presente paragrafo e nei sotto-paragrafi successivi è indicativo e non specifico per alcun'area o sito di indagine; infatti, le analisi e gli approfondimenti potranno essere adattati alle aree/siti che saranno effettivamente indagati e ciò comporterà l'eventuale omissione e/o aggiunta di indagini e attività non specificate nel presente documento. Il piano di indagini sarà infatti adattato alle specifiche condizioni ambientali e socio-economiche dei siti indagati.

Nel caso in cui al termine della procedura di intesa (art. 27 commi 8 e 9 del Decreto Legislativo 31/2010) venga individuato un unico sito, le attività previste nella fase 2 e 3 (descritte nei paragrafi seguenti) dovranno comunque essere applicate ad esso, ed eventualmente essere selezionate in funzione delle caratteristiche territoriali del sito prescelto, al fine di ottenere tutte le informazioni ed i dati necessari alla sua caratterizzazione e successiva qualificazione.

I riferimenti alla componente naturalistica sono presenti sulle seguenti Guide IAEA:

- *SSG-29 – Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste*
- *SSG 31 - Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities*
- *SSG-35 - Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations*
- *RS-G-1.8 - Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection.*

Di seguito viene sintetizzata schematicamente la metodologia descritta precedentemente; nei paragrafi a seguire sono riportate, in maniera più dettagliata, le attività principali da svolgere all'interno di ogni singola fase di approfondimento indicata nella GT29 di ISPRA.

<sup>9</sup> Nel 2014 Andra (*Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs*) ha commissionato, come parte dell'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE), una banca dei campioni ambientali denominata "Ecothèque" con l'obiettivo di garantire la tracciabilità e l'integrità nel lungo periodo dei campioni che provengono dal sito del futuro deposito profondo di scorie radioattive.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Figura 5.11 - Principali componenti del processo di caratterizzazione naturalistica del sito.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## CARATTERIZZAZIONE NATURALISTICA NELLA FASE 2 GT29 - INDIVIDUAZIONE, NELLE AREE POTENZIALMENTE IDONEE DEI SITI DA SOTTOPORRE AD INDAGINI DI DETTAGLIO

Tale fase ha l'obiettivo di fornire, per tutte le aree in cui verranno realizzate le *indagini tecniche*, una prima analisi conoscitiva del sistema ambientale, con particolare riferimento alla flora, fauna ed ecosistemi presenti su scala regionale e sub-locale. Tale analisi sarà realizzata attraverso una raccolta bibliografica di dettaglio e alcune indagini preliminari. Sulla base di quanto riportato nelle linee guida ISPRA (2014), si dovranno verificare i contenuti dei criteri CE11 e CA10 (vedi paragrafo precedente), al fine di escludere eventuali porzioni di aree che non rispondano ai suddetti criteri. A tal fine, il programma specifico per la componente è focalizzato su:

- compilare e raccogliere i dati esistenti sulle aree;
- attività preliminari di campo, utili per la raccolta di nuovi dati e l'approfondimento degli aspetti meno noti dei territori in esame. Le indagini preliminari dovranno, inoltre, determinare i parametri ambientali da indagare e da utilizzare per avviare il monitoraggio ambientale;
- identificare e caratterizzare le zone biologicamente sensibili;
- individuare i parametri ecosistemici, floristici, faunistici che sono necessari per raggiungere una conoscenza sufficiente del sistema ambientale;
- iniziare il monitoraggio ambientale per i parametri che richiedono serie temporali lunghe di analisi.

Il prodotto finale della presente fase è una descrizione preliminare di ogni singola area di indagine che sarà riportata in un rapporto tecnico, oltre ad una banca dati di informazioni che sarà integrata al SIDEN.

I dati raccolti nel presente ambito di caratterizzazione saranno utilizzati per la realizzazione del modello descrittivo di sito, in cui le informazioni che vi confluiranno saranno utilizzate, o ulteriormente sintetizzate, in modelli numerici utili per l'ingegneria del deposito, per l'impatto ambientale dell'opera e per le valutazioni di sicurezza.

Elementi chiave per l'analisi delle aree indagate saranno gli elementi di sensibilità ecologica presenti nelle stesse, in funzione di quanto indicato nei criteri ISPRA; alcuni di essi potranno costituire elementi di attenzione che andranno individuati e correttamente valutati *in itinere*.

L'ambito naturalistico attingerà anche ai dati di altri ambiti di caratterizzazione, come la geologia, l'idrogeologia, la pedologia, la geochimica, la meteorologia.

Sulla base di quanto illustrato precedentemente, le analisi saranno incentrate fondamentalmente sulla caratterizzazione della vegetazione, della flora e della fauna delle aree. In particolare, la caratterizzazione dovrà essere basata su informazioni e dati raccolti principalmente da fonti esistenti, che non siano già state analizzate, quali immagini satellitari, carte topografiche, tematismi di dettaglio (carte della vegetazione, carte degli ecosistemi, aree idonee per la fauna locale, ecc.) e le informazioni che saranno messe a disposizione da parte delle autorità locali e di

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



altre istituzioni. Gli attori coinvolti saranno quindi tutti gli enti che posseggono dati utili ai fini dello svolgimento della presente fase, in particolare: università, istituti di ricerca, regioni, province, comuni, biblioteche pubbliche e private, altri enti pubblici e privati.

Il materiale raccolto fornirà un'idea di quali parametri debbano essere analizzati in questa fase e quali invece vadano indagati *ex-novo* poiché non descritti in lavori scientifici.

Verranno acquisite ed analizzate, inoltre, le informazioni relative al sistema delle aree protette (aree protette a livello internazionale, nazionale e regionale) e delle aree di tutela ambientale definite ai diversi livelli di pianificazione: regionale (Piano Paesistico Regionale), provinciale (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) e locale (Piano Regolatore Generale/Piano Strutturale Comunale). L'analisi bibliografica interesserà anche la raccolta relativa alla normativa sulla protezione della flora e della fauna (specie di interesse conservazionistico indicate nella Legge Regionale della protezione flora e fauna, Liste rosse e Direttive Europee).

Per la fauna saranno raccolti dati ed informazioni relativi a mortalità, malattie e stress (e loro eventuali cause) individuate in passato sulla fauna selvatica, mediante la consultazione di istituti del territorio, come ad esempio gli Istituti Zooprofilattici.

Le informazioni vegetazionali, floristiche e faunistiche emerse dall'indagine bibliografica dovranno necessariamente essere verificate, puntualizzate, aggiornate e implementate mediante l'esecuzione di specifiche indagini preliminari. Inoltre, si provvederà ad impostare una procedura preliminare di verifica delle specie faunistiche e vegetali potenziali. In funzione dei dati disponibili si potrà valutare anche la possibilità di svolgere un'analisi iniziale del paesaggio, secondo i principi dell'Ecologia del Paesaggio, con eventuale classificazione gerarchica del territorio e/o con applicazione di indici di ecologia del paesaggio.

Alcuni dati di *input* utili per la descrizione del sistema ambientale dei siti analizzati sono indicati nelle note seguenti. Tale lista non è esaustiva, ma è riportata solo a titolo di esempio poiché, al momento della scrittura del presente documento, non sono ancora noti i siti che saranno analizzati nella presente fase di analisi.

Riassumendo, le attività o le indagini ecologiche che potrebbero essere svolte all'interno delle aree di indagine sono elencate di seguito.

- analisi degli strumenti di pianificazione disponibili (PTCP, PPR, PRG, PSC, ecc.) e verifica della presenza di contenuti e norme specifiche sul sistema ambientale e quindi su flora, fauna ed ecosistemi;
- analisi di Reti Ecologiche presenti nella pianificazione territoriale ordinaria. A tal fine si può fare riferimento alla pubblicazione ISPRA (Guccione & Schilleci, 2010) ed ai successivi aggiornamenti presenti sul sito web ISPRA o sul periodico tecnico "Reticula" di ISPRA;
- analisi e ricerca di progetti di Rete Ecologica locale, eventualmente non inseriti negli strumenti di pianificazione, o di aree ad alta connettività;
- ricerca e caratterizzazione di eventuali aree protette istituite o in istituzione a livello locale (comunale, provinciale, ecc.);
- caratterizzazione ecologica preliminare di aree protette ai sensi della L. 394/91, di siti Natura 2000 e IBA (*Important Bird Areas*) ed altre aree di valore ecologico eventualmente adiacenti alle aree indagate;

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



- determinazione dell'uso del suolo (*Land use*) e della copertura del suolo (*Land Cover*) secondo il programma CORINE (ISPRA, 2019);
- raccolta ed analisi di carte della vegetazione, eventualmente presenti da dati bibliografici;
- raccolta ed analisi di mappe delle aree di particolare valenza faunistica, quali siti di riproduzione, rifugio, svernamento, alimentazione, corridoi di transito, ecc., eventualmente presenti da dati bibliografici;
- redazione preliminare di una carta degli ecosistemi sulla base della cartografia suddetta;
- caratterizzazione della vegetazione potenziale e reale da dati bibliografici e sopralluogo preliminare;
- raccolta dati e caratterizzazione delle comunità faunistiche presenti in sito e nelle immediate vicinanze, sulla base di documentazione bibliografica, degli areali e degli *habitat* presenti;
- indagine preliminare *in situ* della fauna vertebrata ed invertebrata realmente presente effettuata in un periodo ecologicamente significativo; si verificherà quindi preliminarmente l'elenco faunistico di specie riportato nella relazione d'area prodotta nella Fase 1 del processo di localizzazione;
- identificazione di eventuali *habitat* di interesse conservazionistico presenti *in situ*;
- raccolta dati e preliminare censimento di eventuali specie animali e vegetali di lista rossa (IUCN) presenti, sulla base della documentazione disponibile;
- raccolta dati ed elenco preliminare di specie vegetali ed animali di interesse conservazionistico (di Direttiva Habitat e/o Uccelli, rare, relitte, protette, endemiche o di interesse biogeografico) presenti nell'area di sito, su dati bibliografici e sopralluoghi di campo;
- individuazione di eventuali aree di particolare valenza ecologica presenti in sito o nelle immediate vicinanze;
- raccolta di dati disponibili di campionamento ecologico dei corsi d'acqua presenti o limitrofi alle aree in esame;
- identificazione degli eventuali corpi idrici presenti e degli *habitat* e specie ad essi associati (principalmente da dati bibliografici e successiva integrazione da dati preliminari raccolti in campo);
- applicazione di indici di ecologia del paesaggio, se si disporrà di dati omogenei sulle aree da indagare;
- misure preliminari di campionamento degli inquinanti tossici e radionuclidi nelle piante e animali, che saranno effettuate dopo una prima valutazione dei dati presenti nelle banche informative nazionali degli enti preposti.

Tutti gli studi e le indagini *in situ*, dovranno essere eseguite nel rispetto delle norme, raccomandazioni o specifiche tecniche eventualmente previste e che SOGIN indicherà nel Piano e programma delle indagini tecniche da sottoporre all'Autorità di Controllo (ISIN) come stabilito al comma 10 dell'art. 27 del D.Lgs 31/2010 e ss.m.ii.. Dopo le indagini di campo e la prima valutazione dei dati raccolti, sarà avviato il monitoraggio a lungo termine della fauna, flora ed ecosistemi. Tali misurazioni a lungo termine forniscono una comprensione dell'evoluzione naturale dell'area in un

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



periodo di tempo prolungato. Il monitoraggio dovrà essere effettuato sia nelle aree in esame che nelle vicinanze, in zone lontane da qualsiasi possibile impatto. Il monitoraggio chiaramente proseguirà anche nella successiva fase di caratterizzazione.

### **CARATTERIZZAZIONE NATURALISTICA NELLA FASE 3 GT29 – CARATTERIZZAZIONE TECNICA DI DETTAGLIO DI UNO O PIÙ SITI, IN PARTICOLARE PER QUANTO RIGUARDA IL COMPORTAMENTO NEL LUNGO TERMINE**

L'obiettivo della presente fase è la caratterizzazione ecologica approfondita dei settori di indagine per fornire dati utili alle analisi di sicurezza; a tal fine è indispensabile una buona conoscenza degli ecosistemi, la disponibilità di un'ampia quantità di dati ecologici e una modellizzazione 3D della biosfera che confluirà nel modello di sito. Per ottenere i risultati migliori, saranno utilizzati metodi e modelli specifici per la raccolta ed il trattamento di ogni singolo parametro e si potrà far riferimento, ad esempio, al Programma su BIOSphere Modelling and ASSESSMENT (BIOMASS) della IAEA (2003) o al progetto europeo ERICA (*Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management* - Rischi ambientali da contaminanti ionizzanti: valutazione e gestione) (Howard *et al.*, 2010).

Operazione preliminare da effettuare all'inizio della Fase 3 è l'impostazione di un dettagliato programma di attività relative all'ambito naturalistico, comprensivo di integrazioni con le altre componenti. Infatti, tutte le discipline interagiscono nella pianificazione delle indagini e nella valutazione dei risultati. Poiché l'ambito naturalistico si interfaccia con tutte le altre discipline, in particolare idrogeologia, idrogeochimica, geologia e meteorologia, alcuni parametri ecosistemici potranno derivare da esse. Il programma includerà il tipo di informazioni che dovranno essere raccolte e i parametri che dovranno essere misurati.

Durante la presente fase le indagini sono quindi finalizzate a:

- completamento della caratterizzazione biologica del sito e dei suoi dintorni;
- ulteriore verifica della presenza di specie e *habitat* di interesse conservazionistico in applicazione del criterio ISPRA CA10;
- raccolta e presentazione di tutte le informazioni in banche dati sito-specifiche che confluiranno nel SIDEN;
- realizzazione di modelli di valutazione della biosfera, con particolare attenzione ai modelli ecosistemici ed integrazione, se necessario, con i modelli di *Land use/cover changes*.

Dovranno essere previste anche una serie di attività, quali:

1. identificare le caratteristiche e processi di importanza per la modellazione dinamica di radionuclidi degli ecosistemi attuali e futuri;
2. descrivere il sito e prevedere il suo futuro sviluppo in relazione alle caratteristiche ed ai processi identificati.

In letteratura sono disponibili vari modelli concettuali implementati per quantificare il trasferimento, bioaccumulo di radionuclidi e altre sostanze attraverso la biosfera e per la valutazione degli impatti radiologici associati, tra questi si citano BIOMOV5 II



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



(AA.VV. 1994; AA.VV. 1996), MODARIA (<http://www-ns.iaea.org/projects/modaria/>), i su citati BIOMASS Programme (IAEA, 2003) e ERICA TOOL (Beresford *et al.*, 2007; Brown *et al.*, 2008).

La scelta della metodologia e del *software* sarà valutata in fase di applicazione, al fine di individuare il modello più idoneo al sito in esame ed ai dati che saranno disponibili.

La fase 3 è costituita da due *sub-fasi* principali che trovano corrispondenza nelle fasi di caratterizzazione definite nella SSG-29: una prima fase di approfondimento (*Site Investigation Stage*) e una fase successiva con lo scopo di caratterizzare in dettaglio il sito da qualificare (*Detailed Site Characterization Stage*).

Nelle note seguenti si riportano brevemente le principali attività che saranno realizzate.

L'avvio della prima sub-fase (*Site Investigation Stage*) comprenderà un aggiornamento e approfondimento dei dati quantitativi sulla flora, fauna ed ecosistemi locali. Tali dati saranno raccolti attraverso indagini approfondite nei siti, intensificando il numero di punti di campionamento svolti nella fase precedente e svolgendo dei sopralluoghi stagionali in modo tale da coprire un periodo ecologicamente significativo.

Fermo restando quanto riportato nelle note introduttive precedenti, le attività da svolgere saranno quindi principalmente quelle previste nella Fase 2 ma con un grado di approfondimento maggiore; inoltre, si realizzeranno delle cartografie della copertura del suolo (*Corine Land Cover*) di dettaglio, mediante fotointerpretazione di immagini satellitari e sopralluoghi di campo. La classificazione gerarchica del paesaggio potrà essere tarata sulla realtà territoriale dei siti in esame e si sceglieranno degli indici di Ecologia del Paesaggio mirati alla descrizione dei territori.

Parallelamente potranno essere effettuate stime quantitative di biomassa per mq. I metodi per la quantificazione saranno definiti in funzione del biotopo da analizzare. Le misure della produzione biologica dei singoli ecosistemi, terrestri e acquatici (se presenti) sarà eseguita durante le diverse stagioni dell'anno.

Le informazioni quantitative raccolte saranno utilizzate nei modelli dei sistemi ecologici che servono come base per la valutazione della sicurezza, ma anche, in seguito, come materiale di supporto per la VIA.

Nella fase finale (*Detailed Site Characterization Stage*), le indagini si concentreranno sulle analisi delle caratteristiche ecologiche stazionali. La verifica e raccolta dei dati iniziata durante la fase precedente continuerà in questa fase. Nel caso in cui il sito oggetto di intesa (art. 27 D.Lgs. 31/10) sia unico, le attività previste nelle fasi precedenti dovranno comunque essere applicate ad esso, previa valutazione della loro effettiva utilità.

In generale, i dati esistenti saranno integrati con inventari quantitativi di fauna e flora terrestri e acquatici. Lo studio ecosistemico non si dovrà limitare quindi alla sola componente biologica, ma dovrà analizzare anche le interazioni della fauna e flora locale con il mondo abiotico (ad esempio, litologia, clima, acqua, ecc.). In tal senso sarà quindi utile, ad esempio, l'analisi pedologica, geologica, geochimica e

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



delle acque superficiali per la caratterizzazione approfondita della flora e della fauna. Serie di misurazioni e punti di monitoraggio avviati precedentemente continueranno ad essere misurati, al fine di fornire un inquadramento della naturale evoluzione delle comunità biologiche. Una selezione di ulteriori punti di monitoraggio potrà essere fatta per completare le conoscenze delle caratteristiche ecologiche del territorio in esame.

L'obiettivo della presente sub-fase è la descrizione di tutti dati raccolti e dei parametri utili sia per la comprensione scientifica complessiva del sito che per le analisi e valutazioni utili per la sicurezza del deposito, nonché per le sue prestazioni a lungo termine.

Sostanzialmente, le analisi di approfondimento da svolgere in tale sub-fase derivano dalle indagini svolte nella Fase 2 e 3 (iniziale) che saranno approfondite, come già detto, con sopralluoghi mirati. Si fa presente che l'elenco completo delle indagini sarà riportato nel programma delle attività e sarà sito-specifico, quindi potrà essere definito solo dopo la selezione del sito da indagare. Ulteriori indagini ecologiche che potrebbero essere svolte all'interno del sito definitivo sono elencate di seguito:

- caratterizzazione della vegetazione potenziale e reale di sito e di area vasta;
- censimento floristico e vegetazionale nel sito e nelle immediate vicinanze;
- carta della vegetazione, realizzata sulla base di analisi aerofotografiche e di rilevazioni fisionomiche e fitosociologiche *in situ*;
- indagini sulle popolazioni di mammiferi;
- indagini sulle popolazioni di pesci, se presenti nell'area di indagine;
- indagini sulle popolazioni di anfibi e rettili;
- indagini sulle popolazioni di uccelli;
- indagini sulle popolazioni di invertebrati;
- redazione di mappe delle aree di particolare valenza faunistica, quali siti di riproduzione, rifugio, svernamento, alimentazione, corridoi di transito, ecc., sulla base delle indagini precedenti;
- redazione della carta degli ecosistemi sulla base delle indagini suddette;
- censimento completo delle specie animali e vegetali di lista rossa (IUCN);
- elenco esaustivo delle specie vegetali ed animali di interesse conservazionistico (rare, relitte, protette, endemiche, di Direttiva Habitat/Uccelli o di interesse biogeografico) presenti nelle immediate vicinanze del sito;
- analisi della composizione chimica dei depositi vegetazionali e dei *biota* terrestri.
- misure di produzione primaria e di respirazione degli ecosistemi terrestri e acquatici;
- analisi della biomassa della vegetazione terrestre e produzione primaria; in base alla determinazione della biomassa, verrà calcolata la produzione annua di biomassa in modo da determinare i flussi di materiale di carbonio, acqua e nutrienti;
- eventuali indagini della quantità di legno morto, se presente;
- analisi della lettiera di foglie eventualmente presente;
- raccolta ed analisi delle indagini pedologiche provenienti delle altre componenti,
- campionamento dei suoli;
- studi di bioturbazione;

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



- misure della respirazione aerobica e anaerobica del suolo;
- indagini ecologiche degli eventuali corsi d'acqua presenti;
- campionamento delle acque di superficie negli stessi punti di campionamento definiti per le componenti geologiche. In aggiunta ai parametri fisico-chimici potranno venire analizzati altri parametri ecologici quali, ad esempio, sali nutritivi, clorofilla, quantità di carbonio organico e silice, ma anche parametri fisici quali torbidità, visibilità profondità e colore;
- misure di campionamento degli inquinanti tossici e radionuclidi nelle piante e animali, mediante la raccolta di campioni di tessuto in campo, anche provenienti da battute di caccia e di pesca. Le specie che saranno raccolte nel corso delle indagini ed i metodi di campionamento saranno definiti *in itinere*;
- eventuale applicazione di indici di ecologia del paesaggio;
- eventuale realizzazione di modelli di distribuzione specie (SDMs), utili per acquisire conoscenze ecologiche ed evolutive e di prevedere le distribuzioni delle specie nel territorio.

Tutti gli studi, le analisi di laboratorio e le indagini *in situ* dovranno essere eseguite nel rispetto delle norme, raccomandazioni o specifiche tecniche eventualmente previste. Per alcune attività di campo si potrà far riferimento anche al Manuale APAT "Metodi di raccolta dati in campo per l'elaborazione di indicatori di biodiversità aggiornamento 2004" (Bari *et al.*, 2005).

Come illustrato precedentemente, le informazioni raccolte dalle indagini di campo saranno utilizzate per la valutazione a lungo termine della sicurezza del deposito e per la valutazione di impatto ambientale del deposito, mediante la realizzazione di un modello di valutazione degli ecosistemi.

Un accento particolare sarà stato posto sulla descrizione del trasporto e dell'accumulo di sostanza organica, poiché la conoscenza dettagliata della dinamica del carbonio permette di interpretare come i diversi componenti dell'ecosistema siano collegati tra loro attraverso flussi di energia. Ciò fornisce una base per fare previsioni di dispersione e accumulo della materia all'interno e tra gli ecosistemi. Inoltre, la descrizione delle attuali condizioni ambientali costituirà l'elemento essenziale per prevedere l'evoluzione della flora e fauna nel sito, nelle diverse condizioni climatiche previste (vedi ambito di caratterizzazione meteo – climatico).

### **Monitoraggio**

Parallelamente alle attività suddette, come illustrato al Capitolo 5 del presente documento, si procederà con il *Baseline Monitoring* della componente in esame.

Come indicato dalla SSG-31, l'obiettivo generale dei programmi di monitoraggio durante la fase pre-operativa del deposito, è quello di stabilire una base di riferimento dei livelli preesistenti di contaminanti, di consentire la valutazione dell'impatto del sistema di smaltimento dei rifiuti e di identificare i parametri che possano essere indicatori di *performance* nel periodo di post-chiusura. A tal fine, i parametri e gli indicatori individuati nella Fase 2 andranno raffinati ed incrementati, sulla base dei risultati delle indagini disciplinari e delle caratteristiche naturali, eventi

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



e processi (FEP) individuati in questa fase e utili per la modellazione del sistema ambientale.

Il monitoraggio ambientale di riferimento (*Baseline Monitoring*) è quindi finalizzato alla verifica della variazione della qualità naturalistica ed ecologica nelle aree interessate direttamente ed indirettamente dalla realizzazione dell'opera.

Il monitoraggio della presente componente è finalizzato a raccogliere le informazioni inerenti lo stato delle componenti stesse nelle aree selezionate per il monitoraggio, allo scopo di:

- verificare l'effettivo manifestarsi delle previsioni d'impatto;
- documentare l'evolversi della situazione ambientale rispetto allo stato *ante-operam* al fine di verificare che la dinamica dei fenomeni ambientali sia coerente rispetto alle previsioni del programma di sicurezza;
- controllare l'evoluzione delle comunità vegetali e faunistiche e degli ecosistemi durante l'intero arco temporale che interesserà il Deposito nazionale;
- stabilire i livelli preesistenti di contaminanti e come essi varieranno in funzione dell'inserimento dell'opera e dei vari scenari climatici e progettuali individuati dall'analisi della sicurezza;
- rilevare tempestivamente emergenze ambientali impreviste per potere intervenire con adeguati provvedimenti.

I punti di campionamento saranno scelti in funzione di quanto riportato nella Guida IAEA SSG-31 e sarà comunque definito un programma di monitoraggio all'inizio della presente fase.

Come accennato all'inizio del capitolo, sarà opportuna la progettazione di un'infrastruttura tecnologica dedicata in modo specifico alla conservazione dei campioni ambientali rappresentativi dei *biota*, presenti nell'ambiente in cui sarà inserito il Deposito Nazionale, per la caratterizzazione e la previsione dell'evoluzione degli *habitat* e degli ecosistemi. Tale struttura, l'"Osservatorio permanente dell'Ambiente" dovrebbe:

- stabilire e documentare un inventario dell'ambiente (fisico, chimico, biologico e radiologico);
- preservare la memoria dell'ambiente indagato e trasferire alle generazioni future la possibilità di valutare le modificazioni intercorse;
- preparare e aggiornare il monitoraggio ambientale per il Deposito Nazionale;
- indagare e quantificare la sensibilità o vulnerabilità delle specie e degli ecosistemi ai cambiamenti fisici, chimici e radiologici;
- comprendere le interazioni tra i diversi componenti naturali e artificiali del sistema deposito-ambiente;
- individuare precocemente l'insorgenza di qualsiasi disturbo ecologico;
- modellare, a fini previsionali di lungo periodo, le potenziali modificazioni ecologiche del sistema deposito-ambiente-clima.

Come già anticipato precedentemente, esiste un valido esempio in Francia di realizzazione di una infrastruttura come quella sopraindicata. E' stata realizzata per

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



il sito del deposito Cigéo (Centre industriel de stockage géologique) nel territorio di Meuse - Haute-Marne nella Francia centro-orientale. Al suo interno presenta allestimenti multimediali, strumenti utili per implementare un Sistema Informativo Territoriale specifico, una rete di monitoraggio ambientale ed una banca di campioni ambientali denominata ECOTHEQUE in cui vengono conservati, per un periodo di 100 anni, i campioni ambientali raccolti per 43 matrici rappresentative della filiera agroalimentare e dei bioindicatori.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'ambito di caratterizzazione naturalistico ha l'obiettivo di verificare i criteri ISPRA CE11 e CA10, definiti nella GT29 ISPRA, al fine di raccogliere dati utili per selezionare il sito definitivo, valutare la dispersione dei radionuclidi nell'ambiente analizzato e gli effetti potenziali di un rilascio di radionuclidi sui singoli organismi.

Tali obiettivi saranno raggiunti mediante livelli di caratterizzazione del territorio crescenti nelle singole fasi che, unitamente alle indagini previste per gli altri ambiti, porteranno alla individuazione del sito definitivo e costituiranno la base per la sua qualificazione.

Il percorso metodologico che sarà attuato prevede una serie di indagini con un approfondimento progressivo della conoscenza del territorio, l'inserimento di tali dati nel SIDEN, e l'utilizzo di tali informazioni per implementare un modello di sito, che sarà gradualmente affinato in funzione dei risultati della progettazione e dell'analisi della sicurezza. La modellizzazione è finalizzata a valutare la dispersione dei radionuclidi nell'ambiente e a prevedere gli effetti di un eventuale rilascio sugli ecosistemi e gli organismi viventi. Parallelamente sarà sviluppato il monitoraggio ambientale di riferimento (*Baseline Monitoring*), come illustrato nella SSG-31 e sinteticamente espresso nei paragrafi precedenti.

La pianificazione di tutte le suddette attività è prevista in un programma attuativo che sarà definito all'inizio di ogni singola fase e che, chiaramente, si integrerà con la programmazione delle attività degli altri ambiti di caratterizzazione.

Nelle tabelle seguenti si riassume, per le diverse fasi, alcune delle indagini ed elaborazioni necessarie per la caratterizzazione e i prodotti finali attesi (il seguente elenco, non essendo riferito ad un contesto ambientale definito, può non essere esaustivo e dovrà essere integrato all'avvio delle attività di caratterizzazione per la qualificazione del sito indicato per la localizzazione del Deposito).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## FASE 2

Definizione del programma delle attività	
<b>Attività</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisi del contesto territoriale a livello regionale e sub-locale</li> <li>Raccolta dei dati bibliografici disponibili</li> <li>Sopralluoghi preliminari di campo finalizzati alla caratterizzazione delle aree</li> <li>Verifica della presenza di specie e habitat di interesse conservazionistico in applicazione del criterio ISPRA CA10</li> <li>Verifica della presenza di eventuali aree protette, istituite a livello locale, ricadenti nel criterio ISPRA CE11</li> <li>Definizione preliminare dell'"Osservatorio permanente dell'Ambiente"</li> </ul>
<b>Prodotti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Banca dati di informazioni che confluirà nel SIDEN</li> <li>Caratterizzazione naturalistica delle aree</li> <li>Individuazione di elementi di sensibilità ecologica utili per l'analisi comparativa delle aree idonee</li> <li>Parametri utili per la definizione del <i>Baseline Monitoring</i></li> <li>Rapporto tecnico</li> <li>Contributo per il modello previsionale di sito</li> </ul>

## FASE 3

Definizione del programma delle attività		
<b>Prima della scelta del sito definitivo</b>	<b>Attività</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisi del contesto territoriale a livello locale</li> <li>Sopralluoghi di campo finalizzati alla caratterizzazione e confronto dei siti</li> <li>Ulteriore verifica della presenza di specie e habitat di interesse conservazionistico in applicazione del criterio ISPRA CA10;</li> <li>Individuazione dei parametri utili per la selezione del sito definitivo</li> </ul>
	<b>Elaborazioni</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelli di valutazione della biosfera</li> <li>Analisi di confronto per la scelta del sito definitivo</li> </ul>
<b>Dopo la scelta del sito definitivo</b>	<b>Attività</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Attività ed elaborazioni previste nelle fasi precedenti qualora ci sia un sito unico al termine dell'intesa prevista all'art. 27 commi 8 e 9 del D. Lgs. 31/2010</li> <li>Inventari quantitativi di fauna, flora ed ecosistemi</li> <li>Misure di campionamento degli inquinanti tossici e radionuclidi nelle piante e animali</li> <li>Studio progettuale dell'"Osservatorio permanente dell'Ambiente"</li> </ul>
	<b>Elaborazioni</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modellazione della biosfera da utilizzare per simulare il trasporto e l'accumulo dei radionuclidi nella stessa</li> <li>Previsioni di flora, fauna ed ecosistemi con l'evolversi delle condizioni climatiche</li> </ul>
<b>Prodotti</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Banca dati di informazioni che confluirà nel SIDEN</li> <li>Piano di monitoraggio</li> <li>Rapporto tecnico</li> </ul>



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



<b><u>FASE 3</u></b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contributo per il modello definitivo di sito</li> <li>• Realizzazione dell'”Osservatorio permanente dell’Ambiente”</li> </ul>

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 5.12 AMBITO DI CARATTERIZZAZIONE – ASPETTI ANTROPICI

La SSG – 29 (*Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste*), per quanto riguarda la caratterizzazione di sito riguardo gli aspetti antropici, fa riferimento in particolare a eventi correlati ad attività umane, alle caratteristiche della rete di trasporti, all'uso del suolo e alla distribuzione della popolazione. In generale, secondo le indicazioni IAEA, dovrebbero essere preferibilmente individuate aree o siti con caratteristiche tali da interferire al minimo, anche a scala secolare, con le attività umane, sia in relazione alla densità di popolazione che alla presenza di importanti risorse del sottosuolo sia per quanto riguarda le possibili interazioni del deposito con installazioni, impianti e infrastrutture.

Nel corso del processo di localizzazione e caratterizzazione di un sito ai fini della sua qualificazione, l'analisi delle componenti relative alla popolazione devono condurre alla realizzazione di studi specifici finalizzati alla indicazione di strategie di mitigazione delle possibili interferenze derivanti dall'antropizzazione che possano ridurre l'efficacia delle barriere ingegneristiche e naturali del Deposito (sviluppo urbano, infrastrutture di trasporto, ecc.).

La SSG-35 – *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations* – fa riferimento agli aspetti antropici nella definizione dei criteri di localizzazione e vengono distinti:

- aspetti correlati alla sicurezza (*safety related*), legati al potenziale impatto di eventi umani sulla sicurezza dell'infrastruttura nucleare: eventi generati da altre infrastrutture presenti nel territorio ospite (impianti e installazioni energetiche o industriali, installazioni militari, ma anche la rete di trasporti di superficie, aeroporti, corridoi di traffico aereo); valutazione circa la possibilità di implementare un piano di emergenza efficace in relazione alle caratteristiche infrastrutturali e della popolazione del territorio ospite;
- aspetti non connessi alla sicurezza (*non-safety related criteria*): fattori socio-economici e culturali, pianificazione territoriale, disponibilità di reti di trasporto.

### **Obiettivi della caratterizzazione – Aspetti Antropici**

L'insieme degli studi e delle indagini finalizzate alla qualificazione del sito in cui verrà realizzato il Parco Tecnologico – Deposito Nazionale, deve consentire l'elaborazione di un modello quali-quantitativo che rappresenti in modo completo i caratteri antropici del territorio in cui è compreso il sito definitivo.

Il *modello dei caratteri antropici* del territorio è necessario per costituire la base per la valutazione di aspetti legati all'individuazione del sito definitivo (in termini di localizzazione e/o di *layout* progettuale) e per valutare tutte le possibili interazioni cui si è fatto cenno in precedenza. I dati da acquisire devono garantire la fattibilità delle valutazioni preliminari di sicurezza del Deposito e la stima degli *impatti* correlati alla sua costruzione.

Facendo riferimento a quanto riportato in IAEA – TECDOC – 1308 *Socio – economic and other non-radiological impacts of the near surface disposal of*

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



*radioactive waste*, possono essere schematizzati i principali *fattori*, tra loro strettamente connessi, che nell'insieme costituiscono il *modello dei caratteri antropici* del territorio e che forniscono il livello di base di riferimento (*baseline conditions*) per la previsione e la valutazione dei potenziali impatti:

- **Fattori sociali:** includono la geografia umana, gli indicatori demografici, la struttura e le caratteristiche sociali, lo stato di salute della popolazione; oltre a descrittori tipicamente quantitativi (indicatori demografici, epidemiologici, ecc.) devono essere approfonditi gli aspetti culturali, sociali, politici, educativi e legislativo/normativi del territorio ospite. Il modello deve consentire di prevedere i possibili sviluppi demografici e sociali del territorio.
- **Fattori economici:** economia del lavoro (tipologie lavorative, livelli occupazionali, presenza di organizzazioni del lavoro, competenze presenti, ecc.), attività economiche locali esistenti (turismo, commercio, agricoltura, industria, artigianato, ecc.) e loro possibile evoluzione; potenzialità economiche del territorio.
- **Ambiente costruito:** infrastrutture a rete ed edificato pubblico e privato; aspetti urbanistici e di pianificazione territoriale; distribuzione del costruito e relazioni tra edificato e ambiente naturale.
- **Uso del suolo e delle risorse:** uso del suolo attuale, pianificazioni e potenziali sviluppo; individuazione e studio delle aree interesse storico o archeologico e/o di uso e interesse pubblico; descrizione di eventuali attività agricole/produitive di pregio o di particolare tipicità; l'uso di eventuali risorse superficiali e sotterranee (risorse idriche, materiali estrattivi, ecc.) e il loro possibile sfruttamento futuro (anche facendo riferimento ad eventuali risorse non ancora note, individuate nel corso delle indagini di caratterizzazione).

### **Criteria ISPRA – Norme IAEA**

Le caratteristiche antropiche del territorio in cui realizzare il Deposito Nazionale – Parco Tecnologico sono state considerate nella formulazione dei criteri di esclusione e di approfondimento (Guida Tecnica 29) con riferimento ai seguenti aspetti:

- *Compatibilità della realizzazione del deposito con i vincoli normativi, non derogabili, di tutela del territorio e di conservazione del patrimonio naturale e culturale;*
- *Isolamento del deposito da infrastrutture antropiche e attività umane, tenendo conto dell'impatto reciproco derivante dalla presenza del deposito e dalle attività di trasporto dei rifiuti*
- *Isolamento del deposito da risorse naturali del sottosuolo.*

I criteri di esclusione relativi agli aspetti antropici, sono i seguenti:

<b>CE12</b>	Esclusione di aree poste a distanza non adeguata dai centri abitati
<b>CE13</b>	Esclusione di aree poste a distanza inferiore a 1km da autostrade e strade extraurbane principali e da linee ferroviarie fondamentali e complementari

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



<b>CE14</b>	Esclusione di aree caratterizzate dalla presenza nota di importanti risorse del sottosuolo
<b>CE15</b>	Esclusione di aree caratterizzate dalla presenza di attività industriali a rischio di incidente rilevante, dighe e sbarramenti idraulici artificiali, aeroporti o poligoni di tiro militari operativi

I criteri di approfondimento, che individuano gli aspetti che vanno valutati nelle fasi di localizzazione, sono i seguenti:

<b>CA8</b>	Parametri idrogeologici – utilizzo delle acque per usi legati all'alimentazione umana diretta o indiretta
<b>CA11</b>	Presenza di produzioni agricole di particolare qualità e tipicità e luoghi di interesse archeologico e storico
<b>CA12</b>	Disponibilità di vie di comunicazione primarie e infrastrutture di trasporto
<b>CA13</b>	Presenza di infrastrutture critiche rilevanti o strategiche

Le principali norme IAEA cui si può far riferimento per la progettazione del piano di indagini e per la definizione degli obiettivi di caratterizzazione sono le seguenti:

- SSG-29 – *Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste*
- SSG-35 – *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations*
- SSR-1 – *Site Evaluation for Nuclear Installations*
- RS-G-1.8.- *Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection.*

### **Aspetti metodologici**

L'approccio metodologico generale definito nei capitoli 2 e 3 costituisce la base anche per la progettazione e lo sviluppo del programma di indagini relativo agli aspetti antropici.

Il programma di studi e indagini deve essere articolato *per gradi di approfondimento crescente* che conducano alla completa caratterizzazione del sito definitivo: nelle fasi di localizzazione – in presenza di più aree “oggetto di intesa” – le indagini devono consentire l'acquisizione di dati e informazioni che permettano, in tempi sufficientemente brevi, l'individuazione del sito in cui verrà realizzato il Parco Tecnologico.

La costruzione del *modello dei caratteri antropici* coinvolge diverse discipline ognuna delle quali caratterizzata da tecniche e approcci analitici differenti: scienze sociali, scienze economiche, medicina, scienze storiche, architettura, urbanistica, archeologia, agronomia, scienze forestali, ecc.. Di conseguenza, la descrizione dei caratteri del territorio in termini di “ambiente umano” rappresenta un processo multidisciplinare nel quale devono integrarsi dati derivanti da analisi prevalentemente qualitative e dati basati su misure e analisi quantitative.

Ne consegue che anche la programmazione delle indagini, analisi e studi per la costruzione del *modello delle caratteristiche antropiche* deve essere strutturata come un processo aperto e in continua evoluzione, nel quale le diverse competenze

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



e i diversi approcci culturali che entrano in gioco nello studio dell'“ambiente umano”, interagiscono frequentemente per mettere in relazione e connettere i diversi fattori sopra descritti che costituiscono il modello.

Per quanto riguarda l'*intorno significativo* di riferimento per le analisi antropiche questo è funzione di numerosi fattori e non può essere individuato a priori o univocamente; per alcuni aspetti infatti, l'ambito di riferimento può essere a scala regionale o per ambiti territoriali ancora più vasti (ad esempio per la valutazione delle variazioni demografiche prevedibili in relazione ai flussi migratori).

Analogamente a quanto definito per altri aspetti e tenendo in considerazione le differenze tra i diversi ambiti di approfondimento relativi al contesto antropico per quanto attiene alla programmazione delle indagini per l'elaborazione del modello delle caratteristiche antropiche, è possibile schematizzare – per ogni fase di approfondimento – un processo conoscitivo basato su metodologie e tecniche analitiche a dettaglio e risoluzione crescenti:

1. *Raccolta sistematica e analisi critica di tutta la documentazione disponibile*
2. *Rilievi e indagini territoriali ad ampia scala*
3. *Analisi di dettaglio e studi mirati a scala locale che coinvolgano l'intera popolazione residente nel territorio in studio*

### **Monitoraggio**

Nel capitolo 4 sono state definite le funzioni e i principi generali sulla base dei quali deve essere sviluppato il programma di monitoraggio per un deposito per rifiuti radioattivi di tipo superficiale.

Come si è detto il *modello delle caratteristiche antropiche* deve fornire il livello di base di riferimento (*baseline conditions*) per la previsione e la valutazione dei potenziali impatti; all'interno del modello devono essere definiti tutti gli elementi rilevanti ai fini del monitoraggio del territorio circostante il sito per quanto attiene agli aspetti antropici.

Il modello descrive inoltre i possibili scenari evolutivi degli aspetti legati all'“ambiente umano” sulla base di modelli previsionali elaborati in accordo con dati storici, studi urbanistici, ipotesi geopolitiche, studi epidemiologici, studi sociali e culturali, ecc.. Nell'ambito dei processi umani i modelli previsionali sono comunque caratterizzati da elevata aleatorietà, dipendendo da fattori complessi e generalmente poco prevedibili.

In tale contesto, il controllo periodico dei diversi fattori che costituiscono l'“ambiente umano” rappresenta un elemento indispensabile in tutto il ciclo di vita del Deposito Nazionale (dal progetto alla fase di costruzione, all'entrata in esercizio, alla chiusura e al periodo di controllo istituzionale).

Al *modello delle caratteristiche antropiche* prodotto al termine della fase di indagini per la qualificazione del sito definitivo, è associato un *Progetto di Monitoraggio* nel quale devono essere specificati tutti i parametri, i fenomeni e le caratteristiche dell'ambiente umano da sottoporre a controllo, definendo tipo, numero e modalità di esecuzione di analisi e indagini, oltre che la loro frequenza e le specifiche tecniche di riferimento.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## USO DEL SUOLO

L'uso del suolo è direttamente connesso alle attività umane ed è uno degli elementi che la IAEA, nella guida tecnica SSG-29, analizza nelle fasi di *Site investigation* e *Site characterization*.

Prima di procedere con la descrizione dell'ambito, si ritiene necessario, in tale sede, chiarire la differenza tra uso del suolo (*Land use*) e copertura del suolo (*Land Cover*), quest'ultima citata ed analizzata nell'ambito degli aspetti naturalistici.

In Soesbergen (2015) nell'ambito del Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP), la "*Copertura del suolo*" si riferisce alle caratteristiche fisiche superficiali del territorio (*Land*), quali, ad esempio, la vegetazione o la presenza di strutture edificate. Pertanto, la copertura del suolo è direttamente osservabile, sia in campo o tramite telerilevamento. L'"*Uso del suolo*", invece, descrive le funzioni economiche e sociali del territorio, o le finalità per le quali l'uomo utilizza la copertura del suolo.

Infatti, secondo la FAO e l'UNEP (1999), l'uso del suolo può essere definito come "*the total of arrangement, activities and inputs that people undertake in a certain land-cover type*".

Secondo la SSG-29 della IAEA, l'analisi dell'uso del suolo di un territorio è strettamente finalizzata alla valutazione degli usi futuri del territorio nelle vicinanze del sito proposto per la localizzazione del Deposito per stimare il potenziale impatto dei cambiamenti dovuti all'attività umana sul funzionamento e sulle prestazioni del Deposito. Andrà analizzato anche l'impatto del funzionamento dell'impianto di smaltimento sul futuro uso del suolo nelle vicinanze del sito proposto. Per poter svolgere tale analisi si renderà necessario considerare il prevedibile sviluppo del territorio, ottenibile dall'utilizzo di modelli di uso del suolo (*Land use models*) e dalla pianificazione regionale/locale nella zona di interesse.

La guida IAEA su citata suggerisce anche di analizzare anticipatamente l'assetto proprietario dei terreni nelle aree d'interesse.

Per la caratterizzazione dell'uso del suolo si procederà con le attività riportate di seguito e tra loro complementari:

1. raccolta di dati inerenti le risorse del territorio e gli usi attuali del suolo;
2. possibile evoluzione territoriale sulla base degli strumenti di pianificazione vigenti ed in corso di approvazione;
3. elaborazione di modelli di uso del suolo (*Land use models*) finalizzati a valutare l'evoluzione futura del territorio, in funzione anche degli scenari climatici e degli scenari definiti dall'analisi della sicurezza del deposito;
4. applicazione di indici di Ecologia del Paesaggio specifici per l'uso del suolo. Alcuni esempi di tali indici sono riportati in Cassatella *et al.* (2011) e potranno essere selezionati *in itinere* in funzione dei dati disponibili e delle caratteristiche territoriali delle aree/siti in esame.

Lo studio complessivo della componente e la modellizzazione dei dati raccolti sarà utilizzata nella valutazione del cambiamento di uso del suolo nei vari scenari di progetto definiti per l'analisi sulla sicurezza del deposito e nella valutazione dei



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



conseguenti impatti sulla biodiversità e sulle attività umane. L'uso del suolo è visto come elemento di raccordo tra il sistema ambientale e quello antropico.

Come detto, saranno acquisite ed analizzate le informazioni relative all'evoluzione del territorio secondo i diversi livelli di pianificazione. Si analizzeranno il Piano Paesistico Regionale ed il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, ma fondamentalmente è la pianificazione a livello locale (Piano Regolatore Generale/Piano Strutturale Comunale) che fornirà elementi di analisi di interesse e la verifica della presenza di contenuti e norme specifiche sul sistema antropico che potrebbe influenzare l'uso futuro del suolo.

I modelli di uso del suolo possono aiutare ad indagare gli effetti di una combinazione di determinanti<sup>10</sup> a diversi livelli di scala, quali l'aumento della popolazione, la domanda di cibo, prezzi delle materie prime e il riscaldamento globale, sul cambiamento di uso del suolo in funzione degli scenari definiti dall'analisi sulla sicurezza.

Gli obiettivi di modellazione di uso del suolo sono (Soesbergen, 2015):

- a) migliorare la comprensione dei sistemi di utilizzazione del territorio;
- b) esplorare il comportamento dei sistemi dell'uso del suolo al variare delle condizioni ambientali;
- c) applicare analisi di scenario e strategia di sviluppo.

I dati ambientali e socio-economici utili per la realizzazione dei modelli dell'uso del suolo potranno essere a vari livelli di approfondimento: nell'ambito del presente studio saranno direttamente calibrati ed individuati nella fase di definizione del programma di indagini, in funzione del numero di aree/siti da analizzare e delle caratteristiche territoriali.

Di seguito si riporta una lista indicativa e non esaustiva delle informazioni territoriali e socio-economiche da raccogliere durante il processo di localizzazione del Deposito Nazionale:

- dati topografici quali la quota, la pendenza, esposizione, ecc.;
- carta della copertura del suolo;
- attività selvicolturali;
- rischio di incendio;
- tassi di crescita delle piante;
- dati sulle aree di coltivazione;
- gestione del territorio come l'irrigazione, fertilizzanti, le rese delle colture e delle applicazioni;
- resa delle colture;
- richiesta dei nutrienti da parte delle colture;
- presenza di colture di pregio;
- presenza di attività zootecniche;
- *datasets* sulla rete stradale;

<sup>10</sup> "a driver of land-use change is defined as causing a change in the total area allocated to a specific land-use type or a change in spatial distribution of land-use types" (Heistermann et al. (2006) in Soesbergen 2015).

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



- acque superficiali e sotterranee e accesso alla risorsa (vedi paragrafo “Uso delle acque”);
- presenza di aree estrattive ed attività economiche ad esse connesse;
- presenza di luoghi di interesse storico e archeologico;
- presenza di luoghi di interesse paesaggistico;
- presenza di parchi eolici o fotovoltaici;
- presenza di usi civici o proprietà collettive;
- dati socio-economici, quali ad esempio, sistemi di proprietà fondiaria, accesso al mercato, politiche di sviluppo e di *governance*;
- attività ricreative quali la caccia e la pesca. Le statistiche correlate a tali attività possono essere utilizzate per stimare l’uso dell’area in esame da parte dell’uomo.

Per l’uso di modelli previsionali dell’uso del suolo sono fondamentali i *datasets* del suolo che, in combinazione con dati climatici (si veda l’ambito “Climatologia e Meteorologia”), forniscono le informazioni spaziali necessarie (Soesbergen, *I.c.*). I modelli di uso del suolo più idonei da applicare saranno valutati nel corso del processo di caratterizzazione, in funzione dei dati disponibili e delle attività umane preesistenti e programmate nell’area. Infatti, la presenza di coltivazioni di pregio, di allevamenti o di attività industriali può influenzare in vario modo l’evoluzione dell’uso del suolo. Nel corso del processo si valuterà se applicare dei modelli geografici, economici o integrati, questi ultimi spesso costituiti da una combinazione di separati modelli di processo economico e ambientale capaci di esplicitare spazialmente la modellazione di tipi funzionali di colture. Sono presenti anche modelli di valutazione integrati (IAMS) o modelli *Land-System* (Soesbergen, *I.c.*). Un’altra possibile applicazione dei modelli di *Land Use*, che sarà poi valutata *in itinere* ai fini del presente studio, è la quantificazione dei servizi ecosistemici<sup>11</sup> e come essi mutano in funzione del cambiamento dell’uso del suolo (*Land use change*). Ciò potrebbe essere utile per la valutazione dei servizi ecosistemici offerti dall’agricoltura, ad esempio dalle colture di pregio che sono oggetto del criterio CA11.

Il programma di monitoraggio ambientale, così come definito al capitolo 5 del presente documento, dovrà tener conto ed incorporare anche i dati ottenuti dall’analisi dell’uso del suolo. Infatti, come riportato nella Guida IAEA RS-G-1.8 (2005) a lungo termine, i cambiamenti delle condizioni climatiche ed ambientali, come i flussi idrologici o la chimica delle acque sotterranee, così come i cambiamenti sociali quali i cambiamenti nell’uso del suolo e le tecnologie nella produzione di alimenti, può comportare modifiche sostanziali dei percorsi e dei livelli di esposizione dell’uomo e delle altre componenti ambientali. I programmi di monitoraggio nei pressi degli impianti di stoccaggio dei rifiuti nucleari sono pertanto periodicamente rivisti per tener conto di eventuali cambiamenti delle condizioni di esposizione dell’uomo.

<sup>11</sup> I servizi ecosistemici secondo quanto riportato da Boyd e Banzhaf (2005) sono “the end products of nature that yield human wellbeing. Three necessary conditions define an ecosystem service. First, and most obvious, the service has to emerge from the natural environment. Second, a service must enhance human well-being. Third, a service is an end product of nature directly used by people”.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## **GEOGRAFIA UMANA**

Nella prima fase del processo di localizzazione che ha portato alla realizzazione della CNAPI, sono stati considerati dati di carattere generale relativi alla geografia umana per quanto richiesto dal criterio di esclusione CE12 e da quello di approfondimento CA11. Nelle fasi successive della localizzazione, gli studi dovranno fare riferimento ai criteri di localizzazione della GT29 ISPRA e prevedere la raccolta di dati sempre più dettagliati e di elaborazioni approfondite, seguendo le indicazioni della SSG-35 che distingue tra “*safety related criteria*” e “*non-safety related criteria*”.

### ***Aspetti demografici, urbanistici e territoriali (safety related) (CE12)***

Il criterio di esclusione CE12 della GT29 definisce l'esclusione delle aree “*che non siano ad adeguata distanza dai centri abitati*” specificando che “*La distanza dai centri abitati deve essere tale da prevenire possibili interferenze durante le fasi di esercizio del deposito, chiusura e di controllo istituzionale e nel periodo ad esse successivo, tenuto conto dell'estensione dei centri medesimi*”. Tale criterio, già applicato per la realizzazione della CNAPI, può essere ricondotto al paragrafo II.31 della guida IAEA SSG-29 (2014): “*Consideration should be given to avoiding areas of high population density. The selection of candidate sites should be performed on the basis of appropriate suitability factors, with account taken of the likelihood of future disturbances and radiation protection of people who could be affected by the release of radionuclides from the disposal facility*”.

Nelle fasi di caratterizzazione si dovrà procedere con lo studio degli aspetti (vedi ad esempio le guide IAEA NS-G-3.2 e SSG-35) utili per ottenere un quadro esaustivo delle caratteristiche e delle peculiarità della popolazione presente nel territorio in cui è compreso il sito.

Nel dettaglio dovranno essere condotti studi relativi a:

- edificato: si dovrà procedere con l'individuazione e mappatura delle località abitate e di tutti gli edifici presenti (case, complessi industriali e agricoli,..) o pianificati (analisi delle pianificazioni), loro ubicazione, tipologia costruttiva, utilizzo previsto e reale;
- popolazione (comprendente sia la popolazione permanente o residente sia quella temporanea): mappatura dettagliata della distribuzione sul territorio, dei flussi giornalieri o stagionali, dei luoghi di affollamento significativo (ospedali, scuole, attività economiche, ecc.);
- indicatori demografici quantitativi;
- abitudini alimentari e di vita, livello di istruzione;
- dinamiche demografiche, come ad esempio:
  - evoluzione storica della popolazione (residente e non);
  - movimenti della popolazione;
  - scenari di evoluzione demografica in riferimento alla popolazione permanente e temporanea, tenendo conto anche della eventuale presenza del Deposito Nazionale.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



### **Aspetti socio-economici e culturali (non-safety related) (CA11)**

La GT29 ISPRA indica il criterio di approfondimento CA11 che chiede di valutare *“produzioni agricole di particolare qualità e tipicità e luoghi di interesse archeologico e storico”*.

Come anticipato, le analisi relative a questo ambito non sono direttamente collegate alla sicurezza. L'ipotetico impatto reciproco tra gli aspetti socio-economici e culturali e il Deposito non è di tipo radiologico (SSG-35, 2014; TecDoc 1308, 2002).

Le componenti socio-economiche e culturali possono essere significative sia a scala regionale che locale e la loro importanza può variare durante le varie fasi della vita del Deposito (TecDoc 1308) durante le quali le valutazioni dovranno essere effettuate tenendo conto delle leggi e dei Decreti esistenti (ad esempio il D.Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 e ss.mm.ii. “Codice dei beni culturali e del paesaggio”; il D.Lgs 18 maggio 2001, n. 228 e ss.mm.ii. “Orientamento e modernizzazione del settore agricolo”; il D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. “Norme in materia ambientale”, ecc.).

I dati di base necessari per il processo di localizzazione, per la definizione delle condizioni iniziali del sito definitivo e per le successive valutazioni di impatto sono ad esempio relativi ai seguenti aspetti:

- fattori e componenti storici-archeologici o paesaggistici:
  - presenza di aree con monumenti o resti archeologici (analisi della documentazione di pianificazione esistente, indagini di campo, indagini geofisiche del sottosuolo, valutazioni di impatto archeologico, ecc.);
  - presenza di beni di particolare interesse artistico o architettonico;
  - presenza di aree a valenza paesaggistica;
  - luoghi di particolare interesse pubblico;
- fattori sociali:
  - struttura amministrativa, politica e sociale;
  - salute pubblica (studi epidemiologici, caratteristiche aspetti e fattori psico-sociali, ecc.);
  - articolazione della società civile;
  - livelli di istruzione;
- fattori economici:
  - attività economiche locali (economia rurale, economia legata all'industria, economia legata ai servizi, ecc.);
  - presenza di risorse economiche derivanti da colture o allevamenti pregiati o tipicità;
  - economia del lavoro (livello di occupazione, attività prevalenti, ecc.);
  - distribuzione della ricchezza;
  - turismo;
  - fonti di reddito;
  - valori degli immobili e dei terreni.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## USO DELLE ACQUE

Nel processo di localizzazione e caratterizzazione per la qualificazione del sito destinato ad ospitare il Deposito Nazionale, lo studio delle acque superficiali e sotterranee, e il loro utilizzo, riveste particolare importanza per le analisi di sicurezza, la Valutazione di Impatto Ambientale e per l'elaborazione dei piani di emergenza.

Secondo quanto indicato nella SSG-29 il sito deve essere caratterizzato con un livello di dettaglio che comporti una conoscenza globale delle sue caratteristiche. Ciò comprende le sue condizioni attuali e la sua evoluzione futura, non solo dovuta ad eventi naturali ma anche ai possibili eventi antropici che intervengono nel corso del periodo di interesse dell'opera.

Le analisi dovranno riguardare le diverse tipologie di uso (civile, potabile, industriale, irriguo, idroelettrico, commerciale-ricreativo, ecc.), l'identificazione delle modalità di prelievo, adduzione, distribuzione e stoccaggio, la definizione delle caratteristiche qualitative e quantitative delle acque, la valutazione della richiesta, dei fabbisogni e dei conseguenti prelievi attuali e futuri.

Preliminarmente si dovranno acquisire ed analizzare le informazioni relative all'uso del suolo e della risorsa idrica in tutti gli strumenti di gestione e pianificazione territoriale, con livello di dettaglio crescente.

In particolare in funzione degli usi andranno analizzati indicativamente i seguenti dati:

- uso potabile e civile: numero di utenti, consumo pro-capite, fonte e modalità di approvvigionamento;
- uso industriale: numero e tipologia di insediamenti produttivi, tasso di consumo medio e massimo per utenza;
- uso irriguo agricolo: tipologia di coltivazione, estensione delle superfici coltivate, necessità idrica per tipologia di coltura, tecniche di irrigazione utilizzate;
- uso idroelettrico: portata utilizzata, produzione energetica;
- uso commerciale e ricreativo: numero, ubicazione e tipologia di impianti di itticultura, numero e ubicazione di impianti per attività sportivo-ricreative e relativa utenza, ecc..

Sono da individuare i corpi idrici utilizzati per l'approvvigionamento idropotabile distinti in: acque sotterranee (sorgente, pozzo, galleria drenante, ecc.), acque superficiali (corso d'acqua, lago naturale, bacino artificiale, ecc.), acque marine o salmastre.

Sarà importante individuare, in un intorno significativo rispetto al sito, la presenza di impianti acquedottistici descrivendone l'ubicazione, il bacino idrogeologico in cui ricade, la quantità di acqua captata o derivata, le dimensioni, le caratteristiche degli elementi principali che lo costituiscono (opere di presa, condotte adduttrici, impianti di pompaggio, impianti di accumulo e di distribuzione, ecc.), nonché il numero, la dimensione e la distribuzione delle utenze.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Sarà necessario, inoltre, valutare i volumi di acqua prelevati ed immessi nella rete di distribuzione e quelli effettivamente consumati dall'utenza servita, ossia le perdite degli acquedotti.

Qualora fossero presenti invece centri abitati o insediamenti produttivi sprovvisti di rete idrica di distribuzione dovranno essere analizzate le forme autonome di autoapprovvigionamento e quantificati i consumi per le diverse tipologie di uso (ad esempio pozzi privati, derivazioni, ecc.).

Nella valutazione degli aspetti antropici legati all'uso delle acque si dovranno censire e descrivere le caratteristiche e l'ubicazione anche delle seguenti strutture:

- centrali idroelettriche e relative opere di presa, estrazione, adduzione, restituzione o scarico dell'acqua;
- invasi per uso agricolo, zootecnico o sportivo-ricreativo;
- impianti di depurazione e trattamento delle acque reflue (depuratori, fosse imhoff, fitodepurazione, pozzi a tenuta, pozzi perdenti, ecc.).

Oltre ai volumi di acqua utilizzata per scopi idropotabili andranno censiti anche tutti gli usi pubblici quali pulizia delle strade, innaffiamento di verde pubblico, i prelievi da parte delle autorità preposte alla salvaguardia del patrimonio forestale per la costituzione di scorte antincendio, ecc..

La programmazione dello studio per la costruzione del *modello delle caratteristiche antropiche* relativo *all'uso dell'acqua* deve essere strutturato come un processo aperto e in continua evoluzione, frutto di competenze multidisciplinari e di diversi approcci culturali e socio-economici che tenga in considerazione, oltre all'attuale uso del suolo, tutti gli indicatori necessari a formulare i diversi scenari futuri di sviluppo antropico del territorio.

Lo stesso intorno significativo di riferimento per le analisi antropiche non può essere individuato a priori o univocamente, in quanto funzione dei diversi fattori e delle prospettive future di sviluppo del territorio (ad esempio sviluppo agricolo, industriale e commerciale e conseguente variazioni demografiche).



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## **INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO**

Il criterio di approfondimento CA12 della guida tecnica n.29 (ISPRA 2014) richiede un'analisi della diponibilità di vie di comunicazione primarie e infrastrutture di trasporto – la presenza di infrastrutture (quali ad es. autostrade, strade extra urbane principali e ferrovie fondamentali e complementari, ecc.) consente collegamenti ottimali che minimizzano i rischi connessi al trasporto dei rifiuti radioattivi.

La guida IAEA SSG 29 nel paragrafo “*TRANSPORT OF WASTE*” indica i concetti fondamentali da seguire per una corretta valutazione degli elementi legati al trasporto.

Nel paragrafo *II.27* indica che per valutare le vie d'accesso esistenti o necessarie, le informazioni da raccogliere devono includere:

- una descrizione delle strade esistenti e l'analisi della loro adeguatezza per la gestione dei trasporti dei rifiuti radioattivi;
- esigenze di miglioramento della rete di trasporti esistente;
- analisi delle caratteristiche e delle capacità delle infrastrutture di trasporto anche in relazione a situazioni di emergenza.

La stragrande maggioranza dei trasporti di rifiuti radioattivi sarà convenzionale, in quanto saranno impiegati contenitori di dimensioni e massa contenuta che richiederanno mezzi di trasporto comuni come ad esempio:

- Veicoli motrice
- Autoarticolati e autosnodati
- Veicoli portacontainer

Soltanto in pochissimi casi si dovrà ricorrere ai trasporti eccezionali. Il caso più rappresentativo è il contenitore denominato brevemente “*cask*”, utilizzato per il trasporto in massima sicurezza di rifiuti ad alta attività, che di solito eccede in massa e sagoma i limiti previsti dal Codice della Strada.

Per questa tipologia di trasporti l'unica modalità ad oggi utilizzata in Italia per tratte significative (dell'ordine del centinaio di km) è quella di tipo multimodale strada-ferrovia, limitando il più possibile la percorrenza su strada.

Per tale motivo le infrastrutture che possono essere utilizzate per i trasporti anche per lunghe distanze devono essere valutate e classificate secondo le normative nazionali di riferimento come descritto nel documento SOGIN DN GE 00042 per valutarne l'effettiva idoneità al transito di trasporti eccezionali.

### ***Tipologia di infrastrutture stradali***

Nell'intorno del sito è necessario come richiesto dalla guida tecnica n.29 la classificazione delle strade in è in sintonia con quanto riportato in:

- *D.Lgs. 30 aprile 1992, n. 285 – “Nuovo codice della strada”*
- *D.M. LL. PP. del 12 aprile 1995 – “Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico”*
- *D.M. LL. PP. del 2001*

In questi documenti le strade sono classificate riguardo alle loro caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Nella fase di caratterizzazione del sito risulta opportuno anche la segnalazione, se presenti nell'intorno del sito, di strutture stradali particolarmente sensibili come gallerie, ponti, viadotti ecc., allo scopo di definire un quadro abbastanza dettagliato delle potenzialità della rete stradale esistente.

### ***Trasporto ferroviario***

La classificazione della rete ferroviaria nell'intorno significativo del sito secondo è da effettuare secondo le categorie descritte dall'art.116 del documento RFI "Prefazione Generale all'Orario di Servizio" indicante le masse limite per asse e per metro corrente per ciascuna categoria di linea ferroviaria; come indicato nel documento SOGIN DN GE 00042.

Molto importante in questo processo di valutazione delle infrastrutture ferroviarie è anche la segnalazione dei punti di trasferimento intermodale ferro/gomma che risultano imprescindibili soprattutto nei trasporti di natura eccezionale.

Inoltre nel processo di caratterizzazione delle infrastrutture esistenti sarebbe opportuno effettuare una serie d'indagini al fine di individuare l'eventuale presenza di proposte o progetti futuri per uno sviluppo della rete esistente.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## **INFRASTRUTTURE CRITICHE STRATEGICHE O RILEVANTI**

Il seguente ambito di caratterizzazione, richiamando quanto precedentemente affermato nel paragrafo introduttivo, deve prevedere la tutela e la salvaguardia del Deposito Nazionale rispetto a possibili interferenze con infrastrutture antropiche e attività umane, al fine di minimizzare significativamente la probabilità di accadimento di fenomeni di disturbo che possano compromettere l'integrità del deposito e la capacità di isolamento e confinamento radiologico delle sue barriere ingegneristiche.

### **Criteria ISPRA – Norme IAEA**

Nella Guida Tecnica 29 le attività umane e le infrastrutture antropiche critiche o strategiche vengono prese in esame dal criterio di esclusione CE15 e dal criterio di approfondimento CA13:

<b>CE15</b>	<p><b>Aree caratterizzate dalla presenza di attività industriali a rischio di incidente rilevante (D.Lgs. n.334/99), dighe e sbarramenti idraulici artificiali, aeroporti o poligoni di tiro militari operativi.</b></p> <p>In presenza di dighe e sbarramenti idraulici artificiali devono essere escluse le aree potenzialmente inondabili in caso di rottura dello sbarramento.</p>
<b>CA13</b>	<p><b>Presenza di infrastrutture critiche rilevanti o strategiche</b></p> <p>Deve essere valutato il possibile impatto reciproco derivante dalla vicinanza di infrastrutture critiche o strategiche (quali ad es. i sistemi di produzione, stoccaggio e distribuzione di energia elettrica, gas naturale e olio combustibile e gli insediamenti strategici militari operativi).</p>

In supporto a quanto riportato nella GT 29, esistono una serie di guide e documenti redatti dalla IAEA specifici per tale tematica; tali *report* forniscono indicazioni di carattere generale (SSG-29) o dettagliate (NS-G-3.1, NS-R-3, SSG-35 ...) sulle procedure e metodologie di analisi da adottare per l'individuazione e la valutazione delle strutture critiche e strategiche, finalizzate alla redazione di piani di sicurezza specifici per le fasi di localizzazione del sito e di operatività dell'infrastruttura.

In relazione a quanto affermato nei criteri sopracitati devono essere censite e analizzate con dettaglio crescente tutte quelle attività antropiche che possono minacciare la sicurezza del Deposito Nazionale quali:

- attività a Rischio di Incidente Rilevante (RIR);
- aeroporti;
- dighe e sbarramenti artificiali;
- poligoni di tiro militari e insediamenti strategici operativi;
- impianti energetici, depositi di stoccaggio, infrastrutture di trasporto energetiche e di materiale militari.

### **Attività a Rischio di Incidente Rilevante (RIR)**

Le attività RIR sono definite come stabilimenti e impianti industriali che, in caso di incidente, potrebbero compromettere e danneggiare irrimediabilmente l'ambiente

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



circostante, rappresentando un potenziale pericolo per la sicurezza della popolazione e delle infrastrutture circostanti.

L'analisi preliminare svolta per la redazione della CNAPI ha portato all'individuazione dei RIR che avrebbero potuto interessare le aree potenzialmente idonee ed è stato previsto un intorno cautelativo di 1 km di raggio attorno ai punti di localizzazione degli stabilimenti in quanto previsto nel DPCM 25/2/2005 (*"Linee Guida per la predisposizione del piano d'emergenza esterna di cui all'articolo 20, comma 4, del decreto legislativo 17 agosto 1999, n. 334"*).

Nella successiva fase di approfondimento, al fine di migliorare i dati precedentemente acquisiti, risulta fondamentale considerare i seguenti aspetti:

- provvedere all'aggiornamento continuo dell'elenco RIR fornito da ISPRA e dal Ministero dell'Ambiente;
- valutare la distanza e l'orientamento del Deposito rispetto all'impianto RIR, nonché la topografia del territorio;
- accertare che non siano in fase di localizzazione o realizzazione nuovi stabilimenti rientranti nelle categorie RIR prossimi alle aree oggetto di intesa o che non vengano effettuate modifiche agli stabilimenti già esistenti;
- analizzare i relativi rapporti di sicurezza e piani di emergenza.

Per i casi in cui gli impianti RIR siano prossimi ad aree oggetto delle successive fasi di localizzazione sarà inoltre necessario raccogliere dati specifici relativi a:

- la tipologia e quantità di eventuali combustibili;
- la natura, lo stato fisico e il quantitativo massimo di materiale stoccato o lavorato;
- la potenza di accensione e la velocità di combustione di tale materiale;
- la valutazione di parametri quali:
  - irraggiamento termico;
  - onda di pressione;
  - rilascio tossico.

I dati raccolti permetteranno la determinazione degli scenari incidentali e delle relative aree di danno.

Il programma di raccolta dei dati deve poter esprimere la variabilità spaziale e temporale necessaria per l'elaborazione di modelli numerico/probabilistici atti a pianificare e adottare sistemi di protezione passivi e attivi per ridurre al minimo la possibilità di danno.

### ***Dighe e sbarramenti idraulici artificiali***

Durante il processo di redazione della CNAPI, gli studi svolti per questa tematica hanno riguardato la localizzazione delle dighe e sbarramenti artificiali a scala regionale nelle vicinanze o a monte delle Aree Potenzialmente Idonee (API) e l'individuazione di aree potenzialmente inondabili nel caso di eventuali rotture degli invasi.

A tal proposito, gli studi successivi dovranno riguardare principalmente:

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



- l'analisi dei piani territoriali per valutare la presenza di possibili aree già assegnate alla realizzazione di nuovi progetti o con presenza di costruzioni in fase di ultimazione, prossimi alle aree di interesse, come evidenziato nell'ambito di caratterizzazione – *idrologia*;
- la redazione di piani di valutazione del rischio idraulico dettagliati in caso di rottura di vaso;
- la creazione di modelli numerici previsionali per le aree di interesse prossime a strutture già esistenti.

### **Presenza di aeroporti**

Tale ambito è stato analizzato nella prima fase di localizzazione per individuare ed escludere il territorio circostante gli aeroporti secondo le indicazioni ricevute dall'ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile) e dal Ministero della Difesa.

L'analisi successiva a conclusione del processo di caratterizzazione, che verrà svolta sempre con il diretto supporto dei citati enti competenti, consentirà di redigere piani di sicurezza (valutazione conservativa dell'integrità strutturale - IAEA, NS-R-3; SSG-29) e modelli di rischio (IAEA, SSG-3; Forasassi *et alii*, 2012), necessari a prevedere e gestire eventi indesiderati come ad esempio l'impatto aereo (dovuto ad avaria degli strumenti di volo o per attentato terroristico) e prevenire così fenomeni di danneggiamento della struttura del Deposito.

### **Poligoni di tiro militari e insediamenti strategici operativi**

Un poligono di tiro militare fisso può presentare diversi tipi di potenziali pericoli nei confronti di un vicino deposito nucleare, tra cui: la possibilità di incendio (e conseguente fumo e gas da combustione che possono danneggiare le apparecchiature elettroniche); di esplosione (generazione di onda di pressione aerea e scossa sismica indotta nel suolo); impatto indesiderato di missili e rilascio di gas tossici, corrosivi o infiammabili.

A tal proposito, per la localizzazione delle aree potenzialmente idonee (API), Sogin ha richiesto il supporto del Ministero della Difesa per individuare, analizzare ed escludere porzioni di territorio nazionale interessate da poligoni di tiro militari, insediamenti strategici operativi attivi ed aeroporti militari.

Per concludere il processo di qualificazione del sito, sarà necessario interagire nuovamente con l'autorità competente per esaminare in dettaglio le possibili interazioni tra il Deposito Nazionale e le infrastrutture militari ad esso prossime.

### **Infrastrutture critiche rilevanti o strategiche**

Nella GT 29 vengono considerate infrastrutture critiche e rilevanti gli impianti di produzione, stoccaggio o distribuzione di risorse energetiche in quanto suscettibili di attacchi terroristici o rilevanti ai fini dell'approvvigionamento energetico del Deposito Nazionale.

In questa fase di studio l'obiettivo principale sarà quello di censire tali infrastrutture, valutarne la distribuzione spaziale, la distanza dall'area di interesse e i piani di sviluppo futuri con gli enti gestori di interesse.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



## 6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AA.VV. (1994) – BIOMOVVS II. TECHNICAL REPORT No. 2. An Interim Report on Reference Biospheres for Radioactive Waste Disposal developed by a Working Group of the BIOMOVVS II study. BIOMOVVS II Steering Committee.

AA.VV. (1996) – BIOMOVVS II. TECHNICAL REPORT No. 6. Development of a Reference Biospheres Methodology for Radioactive Waste Disposal Final Report of the Reference Biospheres Working Group of the BIOMOVVS II study. BIOMOVVS II Steering Committee.

ANSI/ANS-2.27-2008 - "Criteria for investigations of nuclear facility sites for seismic hazard assessments", American Nuclear Society, La Grange Park Illinois.

APAT, IRSA-CNR (2003), Manuali e Linee Guida 29/2003. Metodi analitici per le acque. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880905005475>.

Bari A., Capocéfalo S., Sardella G., Tolve E., Caruso S., De Marco P., Serra B., Casotti M., Commodari D., Di Chiara C., Francese V., Scalzo G., Mammoliti M., Morra Di Cella U., Trèves C., Piccini C., Raineri V. (A cura di) (2005) - Metodi di raccolta dati in campo per l'elaborazione di indicatori di biodiversità aggiornamento 2004. APAT, CTN\_NEB.

Beresford N.A., Brown J., Copplestone D., Garnier-Laplace J., Howard B., Larsson C.-M., Oughton O., Pröhl G., Zinger I. (2007) - D-ERICA: An integrated approach to the assessment and management of environmental risks from ionising radiation. Description of purpose, methodology and application. A deliverable of the ERICA project (FI6RCT-2004-508847). Available at: <https://wiki.ceh.ac.uk/download/attachments/115017395/D-Erica.pdf?version=1&modificationDate=1263814127000&api=v2>.

Bonini L., Di Bucci D., Toscani G., Seno S., Valensise, G., (2014). On the complexity of surface ruptures during normal faulting earthquakes: excerpts from the 6 April 2009 L'Aquila (central Italy) Earthquake (Mw 6.3) - Solid Earth 5 (1), 389–408.

Boyd J.W., J. Banzhaf H.S. (2005) - Ecosystem Services and Government Accountability: The Need for a New Way of Judging Nature's Value. Resources, Summer, pagg. 16-19.

Brown J. E., Alfonso B., Avila R., Beresford N. A., Copplestone D., Pröhl G., Ulanovsky A. (2008) - The ERICA Tool. Journal of Environmental Radioactivity 99, 1371–1383.

Cassatella C., Peano A. (Eds.) (2011) - Landscape Indicators. Assessing and Monitoring Landscape Quality. ISBN 978-94-007-0365-0. Springer Science+Business Media B.V.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Cerbini G., Gorla M. (2004) – Idrogeologia Applicata. Principi, metodi e misure. Edizioni Geo-Graph, Segrate.

Christensen J.H., Christensen O.B. (2003) - Climate modeling: severe summertime flooding in Europe Nature, 421, pp. 805–806

Chiesa G. (1992) – Glossario di idrogeologia. Edizioni Geo-Graph, Segrate

Civita M. (2005) – Idrogeologia applicata e ambientale. Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

Custodio E., Llamas M.R. (2005) – Idrologia Sotterranea. Dario Flaccovio Editore.

Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome (2008) – Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1999. “Understanding variation in partition coefficient, Kd, values”; EPA 402-R-99-004A, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

FAO, UNEP (1999) - Terminology for Integrated Resources Planning and Management, Food and Agriculture Organization/United Nations Environmental Programme, Rome, Italy/Nairobi, Kenya.

Forasassi G., Lo Frano R., Pugliese G. & Baudanza V. (2012) - Preliminary evaluation of an aircraft impact on a surface RWs disposal facility - CERSE-UNIFI RL 1515/2012

Franconi V. (2014) – Idrogeologia Ambientale. Casa Editrice Ambrosiana.

Franck A., Audemard M., Michetti A.M. (2011) - Geological criteria for evaluating seismicity revisited: Forty years of paleoseismic investigations and the natural record of past earthquakes, Geological Society of America Special Papers 2011;479;1-21.

Giarratana V., Griffini L. (2011) – Il Modello Geologico di Riferimento a servizio dei progetti delle infrastrutture viarie – Strade & Autostrade 3/11,190-193.

Guccione M. & Schilleci F. (a cura di) 2010 - Le reti ecologiche nella pianificazione territoriale ordinaria. Primo censimento nazionale degli strumenti a scala locale. Rapporti 116/2010, ISPRA, Roma.

Gurpinar A., Serva L., Livio F., Rizzo P.C. (2017). Earthquake-induced crustal deformation and consequences for fault displacement hazard analysis of nuclear power plants. Nuclear Engineering and Design, 311, 69–85, doi: 10.1016/j.nucengdes.2016.11.007

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Heistermann M., Müller C. & Ronneberger K. (2006) - Land in sight Achievements, deficits and potentials of continental to global scale land-use modeling. Agriculture, Ecosystems & Environment, 114(2-4), 141–158.

Howard B.J., Beresford N.A., Andersson P., Brown J.E., Coplestone D., Beaugelin-Seiller K., Garnier-Laplace J., Howe P., Oughton D., Whitehouse P. (2010). Protection of the Environment from Ionising Radiation in a Regulatory Context - an Overview of the PROTECT Coordinated Action Project. J Journal of Radiological Protection, 30 (2) 195-214.

IAEA (International Atomic Energy Agency) (1994) - Siting of near surface disposal facilities, Safety Series Guide No. 111-G-3.1

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2001a) - Characterization of groundwater flow for near surface disposal facilities, TecDoc No. 1199

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2001) – Technical considerations in the design of near surface disposal facilities for radioactive waste, TecDoc No. 1256

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2001) – Fundamental Safety Principles, Safety Fundamentals No. SF-1

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2002) - Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-3.2

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2002) - External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, Safety Standard Series No. NS-G-3.1

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2002) – Socio-economic and other non-radiological impacts of the near surface disposal of radioactive waste, TecDoc No. 1308

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2003a) - Consideration of external events in the design of nuclear facilities other than nuclear power plants, with emphasis on earthquakes, TecDoc No. 1347

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2003b) - External Events Excluding Earthquakes in the Design Of Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-1.5

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2003) - Reference Biospheres for Solid Radioactive Waste Disposal, Report of BIOMASS Theme 1 of the BIOSphere Modelling and ASSessment (BIOMASS) Programme. IAEA-BIOMASS-6, Vienna, July 2003

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



IAEA (International Atomic Energy Agency) (2003) - Considerations in the Development of Near Surface Repositories for Radioactive Waste - Technical Reports Series no 417

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2003) - Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near surface disposal facilities - IAEA-TECDOC-1380

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2004) - Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, Results of a Coordinated Research Project - ISAM, Volume 1 e 2

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2005) - Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection. Safety Guide. RS-G-1.8.

Monitoring for Purposes of Radiation Protection. Safety Guide. RS-G-1.8.

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2006) - Fundamental Safety Principles – Safety Fundamentals – No. SF-1

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2007) - Disposal Aspects of Low and Intermediate Level Decommissioning Waste - TECDOC-1572

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2010) - Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants - Special Safety Guide No. SSG-3

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2010) - Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, SSG-9; In fase di revisione: Draft Safety Guide No. DS 507 (2020).

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2011) – Disposal of Radioactive Waste - Specific Safety Requirements No. SSR-5

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2011a) - Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-18

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2012) - Storage of Spent Nuclear Fuel - Special Safety Guide No. SSG-15

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2012) - Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations - Special Safety Guide No. SSG-21

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2012) - The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste - IAEA Specific Safety Guide no 23

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



IAEA (International Atomic Energy Agency) (2014) - Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide No. SSG-29

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2014) - Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities, Safety Requirements, No. NS-R-5 (rev.1)

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2014) - Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities, Specific Safety Guide No. SSG-31

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2015a) - Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations, Specific Safety Guide No. SSG-35

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2015) - The Contribution of Palaeoseismology to Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations, TEC-DOC 1767.

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2015) - Ground Motion Simulation Based on Fault Rupture Modelling for Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Reports Series No. 85

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2016) - Safety Assessment for Facilities and Activities , General Safety Requirements No.GSR Part 4 (Rev.1)

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2017) - Contents and Sample Arguments of a Safety Case for Near Surface Disposal of Radioactive Waste - TECDOC 1814

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2019) - Site Evaluation for Nuclear Installations, Specific Safety Requirements No. SSR-1

IAEG – International Association for Engineering Geology and Environment – Italian Group (2009) - Recommendations for Reliability Quantification of the Geological Model in Large Civil Engineering Projects

ISIN (2020) - Guida Tecnica n. 30 - Criteri di sicurezza e radioprotezione per depositi di stoccaggio temporaneo di rifiuti radioattivi e di combustibile irraggiato.

ISPRA (2010) - La realizzazione in Italia del Progetto Corine Land Cover 2006. ISPRA, **RAPPORTI** 131/2010. Disponibile su <http://www.isprambiente.gov.it/publicazioni/rapporti/la-realizzazione-in-italia-del-progetto-corine>

ISPRA (2010) – Metodologie di misura e specifiche tecniche per la raccolta e l’elaborazione dei dati idrometeorologici, Stato dell’Ambiente 60/2010

ISPRA (2012) – Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche, Stato dell’Ambiente 32/2012

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



ISPRA (2013a) – Linee guida per l’analisi e l’elaborazione statistica di base delle serie storiche di dati idrologici, Stato dell’Ambiente 84/2013

ISPRA (2013b) – Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura e precipitazione in Italia, Stato dell’Ambiente 37/2013

ISPRA (2014) – Elementi per l’aggiornamento delle norme tecniche in materia di valutazione ambientale. Manuali e Linee Guida 109/2014. Roma. ISBN 978-88-448-0649-1.

ISPRA (2014) - Guida Tecnica n. 29 - Criteri per la localizzazione di un impianto di smaltimento superficiale di rifiuti radioattivi a bassa e media attività.

ISPRA (2019) – Corine Land Cover (CLC) 2018, IV livello.

Lindborg T. (editor) (2008) - Surface system Forsmark. Site descriptive modelling SDM-Site Forsmark. SKB Rapport R-08-11. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, Sweden.

Lindborg T., Schüldt R. (1998) - The biosphere at Aberg, Beberg and Ceberg - a description based on literature concerning climate, physical geography, ecology, land use and environment. SKB Technical Report TR-98-20.

Livio F., Serva L., Gupinar A. (2017) - Locating distributed faulting: contributions from insar imaging to probabilistic fault displacement hazard analysis (PFDHA) - Quaternary International vol.451, 7 september 2017, pages 223-233.

Lutton R. J., Butler D. K., Meade R. B., Patrick D. M., Strong A. B., Taylor Jr H. M. (1982) - Tests for evaluating sites for disposal of low-level radioactive waste. NUREG/CR-3038. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS (USA). Geotechnical Laboratory.

Maes J, Teller A, Erhard M, Liqueste C, Braat L, Berry P, Egoh B, Puydarrieux P, Fiorina C, Santos F, Paracchini ML, Keune H, Wittmer H, Hauck J, Fiala I, Verburg PH, Condé S, Schägner JP, San Miguel J, Estreguil C, Ostermann O, Barredo JI, Pereira HM, Stott A, Laporte V, Meiner A, Olah B, Royo Gelabert E, Spyropoulou R, Petersen JE, Maguire C, Zal N, Achilleos E, Rubin A, Ledoux L, Brown C, Raes C, Jacobs S, Vandewalle M, Connor D, Bidoglio G (2013) - Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Publications office of the European Union, Luxembourg.

Michetti A. M., Audemard F. A. M., Marco S. (2005) - Future trends in paleoseismology: Integrated study of the seismic landscape as a vital tool in seismic hazard analyses, Tectonophysics 408, 3-21.

<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



NDA Nuclear Decommissioning Authority (UK, 2011) - Geological Disposal – Site characterisation for a geological disposal facility . Status Report: March 2010. NDA Report no. NDA/RWMD/057.

Nori L., Di Marcantonio P. (2015) - Manuale pratico di risposta sismica locale, dal sismogramma allo spettro di progetto, EPC editore, pp.3203.

Petersen M.D., Dawson T.E., Chen R., Cao T., Wills C.J, Schwartz D.P., and Frankel A.D. (2011) - Fault Displacement Hazard for Strike-Slip Faults. Bull. Seism. Soc. Am., April 2011 vol. 101 no. 2 805-825, doi: 10.1785/0120100035.

Pizzolotto R. & Brandmayr P., 1996. An index to evaluate landscape conservation state based on land-use pattern analysis and Geographic Information System techniques. *Coenoses*, 11: 37-44.

Reicherter K., Michetti A.M., and Silva, P.G. (eds.) (2009) - Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment: Geological Society of London Special Publication 316, 320 p.

Shum E.Y., Starmer R.J., Young M.H. (1989) - Environmental Monitoring of Low-Level Radioactive Waste Disposal Facility, Division of Low-Level Waste Management and decommissioning Office of Nuclear Material Safety and Safeguard, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG No. 1388

SKB (2001) - Site Investigations. Investigation Methods and General Execution Programme. SKB Report TR-01-29. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, Sweden.

Soesbergen Arnout van (2015) - A review of land use change models. MacArthur Foundation, UNEP (United Nations Environment Programme) World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC).

SOGIN (2014) - Basi teoriche e modalità di applicazione dei criteri per la realizzazione della CNAPI. Elaborato DNGS00102

Swedish Radiation Protection Institute (1994) - BIOMOVs II (Biospheric Model Validation Study), An Interim Report on Reference Biospheres for Radioactive Waste Disposal. Technical Report No. 2. Stockholm, Sweden.

Swedish Radiation Protection Institute (1996) - BIOMOVs II (Biospheric Model Validation Study), Development of a Reference Biospheres Methodology for Radioactive Waste Disposal. Final Report of the Reference Biospheres Working Group of the BIOMOVs II study. Technical Report No. 6. Stockholm, Sweden.

Veldkamp A. & Lambin E.F. (2001) - Predicting land-use change. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 85 (1-3), 1–6. Available at: <http://uwf.edu/zhu/evr6930/15.pdf>.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Progetto Preliminare DNPT:</b> <b>Criteria e contenuti per la definizione del</b> <b>programma delle indagini per la qualificazione</b> <b>del sito</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN GS 00200</b>  <b>REVISIONE</b> <b>01</b>
---	---



Verburg P.H., Overmars K. P. (2009) - Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. Landscape Ecology vol. 24: pagg. 1167–1181.

World Meteorological Organization (WMO) (2010) - Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation No. 8, 2008 edition Updated in 2010

Youngs R. R., Arabasz W. J., Anderson R. E., Ramelli A. R., Ake J. P., Slemmons D. B., McCalpin J.P., Doser D.I., Fridrich C.I., Swan F.H., Rogers A.M., Yount C.J., Anderson L.W., Smith K.D., Bruhn R.L., Knuepfer P.L.K., Smith R.B., dePolo C.M., O'Leary D.W., Coppersmith K.J., Pezzopane S.K., Schwartz D.P., Whitney J.W., Olig S.S. & Toro, G. R. (2004). A methodology for probabilistic fault displacement hazard analysis (PFDHA). Earthquake Spectra, 19, 191.