



Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente

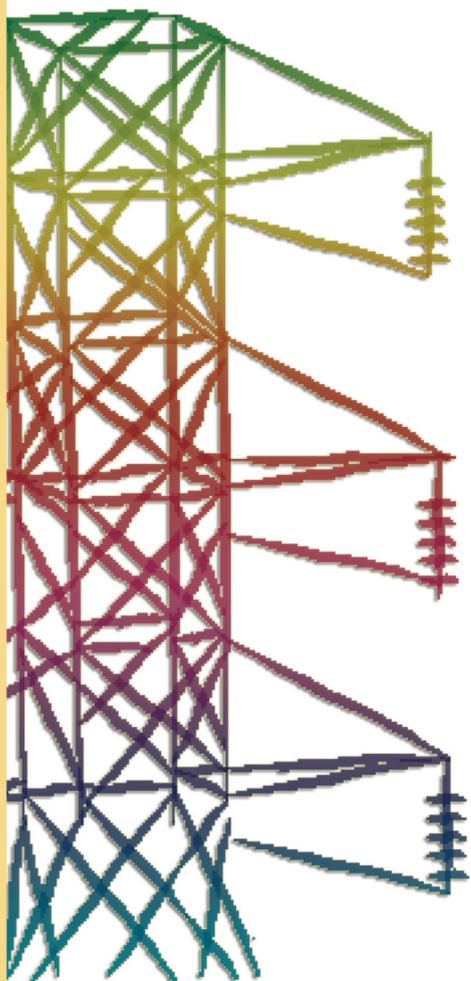


Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Requisiti minimi per la localizzazione e la progettazione di un deposito di smaltimento per i rifiuti radioattivi di seconda categoria

R. Bove, A. Luce, A. Mura, A. Taglioni, F. Zarlenga





Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Requisiti minimi per la localizzazione e la progettazione di un
deposito di smaltimento per i rifiuti radioattivi di seconda categoria

R. Bove, A. Luce, A. Mura, A. Taglioni, F. Zarlenga

REQUISITI MINIMI PER LA LOCALIZZAZIONE E LA PROGETTAZIONE DI UN DEPOSITO DI
SMALTIMENTO PER I RIFIUTI RADIOATTIVI DI SECONDA CATEGORIA

R. Bove, A. Luce, A. Mura, A. Taglioni, F. Zarlenga (ENEA)

Aprile 2009

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Nuovo Nucleare da Fissione

Responsabile Tema: Stefano Monti, ENEA

Sommario

Nel documento sono definite e analizzate le azioni propedeutiche alla progettazione dell'impianto di smaltimento, del quale sono indicati in via preliminare i criteri di progetto derivati dai requisiti di sicurezza stabiliti dalla IAEA. Sono identificati gli studi da effettuare relativi a: scenari, analisi territoriali, performance assessment, specifiche di accettabilità dei rifiuti nel deposito, elementi socio-economici, sicurezza dell'installazione, quadro normativo e di radioprotezione, migrazione dei nuclidi, livelli di sicurezza da garantire nel medio e lungo termine, implicazioni territoriali ed ambientali.

INDICE

1 EXECUTIVE SUMMARY	4
2 QUADRO GIURIDICO E NORMATIVO PER LA GESTIONE DEI RIFIUTI RADIOATTIVI.....	9
2.1 RIFERIMENTI INTERNAZIONALI.....	9
2.2 LA SITUAZIONE ITALIANA	10
2.3 CONCLUSIONI	10
3 SISTEMA DI GESTIONE.....	12
4 INVENTARIO E CARATTERIZZAZIONE DEI RIFIUTI RADIOATTIVI	15
5 SELEZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEL SITO	17
5.1 PREMESSA.....	17
5.2 ANALISI PROPEDEUTICHE E STRUMENTI PER LA SELEZIONE DI SITI CANDIDATI SUL TERRITORIO NAZIONALE.....	17
5.2.1 Criteri di esclusione.....	18
5.2.2 L'applicazione dei criteri di esclusione.....	20
5.2.3 Gli strumenti di selezione	23
5.3 FASE DI CARATTERIZZAZIONE SUI SITI CANDIDATI	25
6 PROGETTAZIONE DEL DEPOSITO	28
6.1 PREMESSA.....	28
6.2 TIPOLOGIA REALIZZATIVA E ASSETTO GESTIONALE	29
6.3 OBIETTIVI E REQUISITI DEL PROGETTO	31
6.4 INTERFACCIE PROGETTUALI.....	31
6.4.1 Caratteristiche dei rifiuti.....	32
6.4.2 Caratteristiche del sito.....	33
6.4.3 Aspetti operazionali	33
6.5 BARRIERE INGEGNERISTICHE.....	35
6.5.1 Il concetto “multibarriera”	35
6.5.2 Tipologia e principali caratteristiche delle barriere	35
6.5.3 Criteri di progettazione delle barriere.....	37
6.6 CONTENUTI E FASI DI PROGETTO	37
6.6.1 Progettazione Concettuale	38
6.6.2 Progettazione Ingegneristica di base.....	39

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	3	52

6.6.3	Progettazione esecutiva	41
7	ANALISI DI SICUREZZA	43
7.1	GENERALITÀ	43
7.2	ANALISI DI SICUREZZA NELLA FASE DI PROGETTAZIONE.....	45
7.3	ANALISI DI SICUREZZA NELLA FASE DI ESERCIZIO	47
7.4	ANALISI DI SICUREZZA NELLA FASE DI POST CHIUSURA.....	48
8	RIFERIMENTI	50

ALLEGATI

Allegato 1	Risoluzione 22 Febbraio 1999 del Gruppo di Lavoro “Destinazione Rifiuti Radioattivi” di esperti costituito presso il Dipartimento della Protezione Civile.
Allegato 2	Carta della distribuzione delle Formazioni Argillose in Italia
Allegato 3	Carta Idrogeologica d’Italia
Allegato 4	Carta Neotettonica d’Italia
Allegato 5	Carta dell’Uso del Suolo
Allegato 6	Carta delle Aree Naturali Protette

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	4	52

1 EXECUTIVE SUMMARY

L'ultima fase della gestione dei rifiuti radioattivi, lo smaltimento, consiste nella collocazione definitiva dei manufatti di rifiuto condizionato in un deposito, con l'intenzione di non recuperarli e di ridurre al minimo le operazioni di manutenzione e di sorveglianza; il deposito deve garantire il completo isolamento dalla popolazione e dall'ambiente fino a quando la radioattività residua, per effetto del decadimento, non raggiunge valori paragonabili a quelli ambientali.

Questo obiettivo viene raggiunto tramite un sistema combinato di barriere artificiali (barriere ingegneristiche) e barriere naturali (barriere geologiche), di diversa natura, a seconda che si smaltiscano rifiuti di media e bassa attività o di alta attività. La prima barriera è, generalmente, costituita dalla matrice di condizionamento e dal contenitore del manufatto stesso. Le barriere successive (artificiali e/o naturali) devono essere fornite dal deposito e dal sito del deposito.

Nel caso di rifiuti radioattivi a bassa e media attività (II Categoria), l'isolamento deve essere garantito al massimo per qualche secolo (300-500 anni); trecento anni è ad esempio il tempo che determina un abbattimento di mille volte dei livelli di radiazione dei radionuclidi più abbondanti come il Cs-137 o lo Sr-90, che hanno un tempo di dimezzamento dell'ordine di trenta di anni.

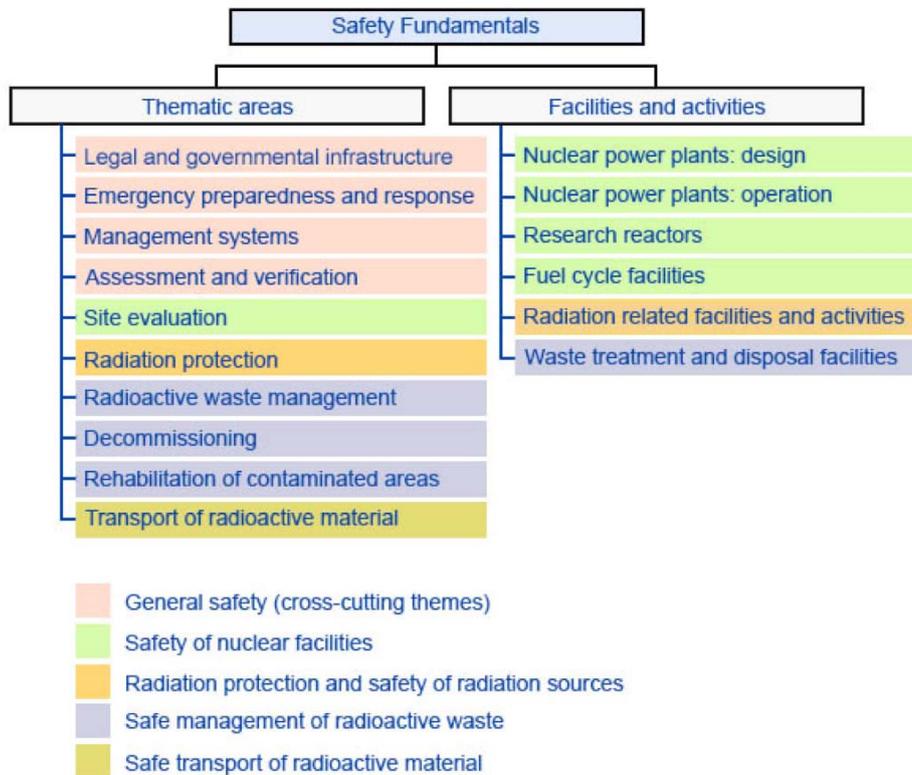
Per i rifiuti di II Categoria la soluzione di smaltimento più idonea, già da tempo adottata con successo nella maggior parte dei paesi industrializzati, è il deposito superficiale di tipo "ingegneristico", in quanto si affida essenzialmente a barriere artificiali; le eventuali barriere naturali non vengono tenute in conto nell'analisi di sicurezza e rappresentano pertanto barriere di riserva, comunque utili per elevare i livelli di sicurezza e per il consenso delle popolazioni interessate.

Questo tipo di deposito prevede, normalmente, una messa a dimora dei rifiuti con due o tre barriere in serie tra i manufatti e l'ambiente esterno; ad esempio i manufatti possono essere immobilizzati all'interno di contenitori prefabbricati in calcestruzzo armato, a loro volta inseriti in celle in calcestruzzo armato, che sono poi coperte ed interrate; l'intero sistema deve essere progettato e realizzato con criteri che ne assicurino la conservazione in tutte le condizioni prevedibili.

Il processo di individuazione nel territorio nazionale delle aree potenzialmente idonee per la localizzazione di un sito per la realizzazione di un deposito di smaltimento per rifiuti di II Categoria può essere basato su metodologie consolidate a livello internazionale, con l'adozione di criteri largamente condivisi da applicare al caso specifico.

In particolare, si ritiene che la scelta migliore sia l'adozione delle procedure e metodologie riportate nei "Safety Standards" della IAEA (<http://www-ns.iaea.org/standards/>), da adattare al caso italiano per le parti applicabili.

IAEA Safety Standards



Per quanto riguarda lo smaltimento di rifiuti a bassa e media attività, volendo limitarsi solo ai requisiti minimi perché un sito sia accettabile per la realizzazione di un deposito di smaltimento, si riporta una libera traduzione dal cap.6 del documento IAEA: “Near Surface Disposal of Radioactive Waste: Safety Requirements” [1]:

REQUISITI GENERALI

1. Il sistema di smaltimento dei rifiuti deve permettere l'isolamento dei rifiuti e la limitazione del rilascio dei radionuclidi in modo da garantire che i potenziali effetti dello smaltimento per le persone e per l'ambiente siano entro limiti accettabili e che l'obiettivo globale di sicurezza sia soddisfatto (obiettivo di radioprotezione), tenendo conto delle caratteristiche dei rifiuti, dei controlli istituzionali, delle barriere ingegneristiche e delle barriere naturali associate con il sito.

2. Le caratteristiche del sito devono essere prese in considerazione nell'analisi di sicurezza e nella progettazione del deposito. Nel determinare le caratteristiche del sito che sono importanti per l'analisi di sicurezza e per la progettazione, le seguenti sono da considerarsi come minimo: geologia, idrogeologia, geochimica, tettonica e sismicità, processi di superficie, meteorologia, clima e impatto sulle attività umane.

GEOLOGIA

3. Per contribuire alla stabilità del sistema di smaltimento, il sito deve essere ubicato in una zona che ha caratteristiche geologiche favorevoli a soddisfare i requisiti di cui al punto 1 e a quelli generali di radioprotezione.

IDROGEOLOGIA

4. Nella scelta di un sito devono essere privilegiate quelle caratteristiche idrogeologiche che limitano la possibilità di migrazione dei radionuclidi dal deposito all'ambiente esterno.

5. Il deposito deve essere ubicato e progettato in modo da prevenire una inaccettabile contaminazione radioattiva delle risorse idriche sotterranee, tenendo conto sia dell'attuale uso delle risorse idriche sia del loro uso futuro.

GEOCHIMICA

6. Le caratteristiche geochimiche del sito e delle acque sotterranee devono essere sfruttate per il loro potenziale contributo alla limitazione della migrazione dei radionuclidi dal deposito all'ambiente esterno. Nello stesso tempo queste stesse caratteristiche non devono compromettere la durata di progetto delle barriere ingegneristiche.

TETTONICA E SISMICITA'

7. La tettonica e la sismicità del sito e, se del caso, della regione circostante, devono essere tali che i processi tettonici e di faglia e le attività sismiche o vulcaniche non siano attesi con una intensità tale da compromettere la capacità di isolamento del deposito.

PROCESSI DI SUPERFICIE

8. La frequenza e l'intensità di processi superficiali, quali inondazioni, erosione, frane o fenomeni atmosferici, devono essere tali da non pregiudicare in maniera significativa la capacità del sistema di smaltimento di isolare i rifiuti radioattivi.

9. Per i depositi di smaltimento superficiali, il sito deve essere ben drenato e avere caratteristiche topografiche e idrologiche tali da minimizzare il rischio di inondazioni. Le implicazioni derivate da invasi idrici esistenti o progettati, e più in generale qualsiasi alterazione prevista o prevedibile nel drenaggio delle acque superficiali, che possa modificare le condizioni di scorrimento delle acque sotterranee in prossimità del deposito, devono essere valutate per tutto il periodo di tempo indicato o approvato dall'autorità di controllo.

METEOROLOGIA E CLIMA

10. Le caratteristiche climatiche del sito, in particolare le precipitazioni e l'evaporazione, e i potenziali effetti di eventuali fenomeni meteorologici estremi, devono essere attentamente valutate per il loro impatto sulla progettazione del deposito e sulla circolazione di acqua nell'area del deposito. Devono essere presi in considerazione anche gli eventuali effetti di possibili cambiamenti climatici che si possano verificare durante la fase di post-chiusura (controllo istituzionale).

IMPATTO DELLE ATTIVITA' UMANE

11. Il sito di smaltimento deve essere ubicato in posizione tale che le attività umane che possano essere ragionevolmente previste in vicinanza del sito non siano tali da compromettere la capacità di isolamento del deposito. Particolare considerazione deve essere data alle risorse locali e al potenziale di sviluppo dell'area e dei suoi immediati dintorni.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	7	52

12. Buone vie di accesso devono essere realizzate e mantenute per consentire il trasporto dei rifiuti al sito. L'uso del suolo e la proprietà dei terreni deve essere considerata in connessione con il prevedibile sviluppo e la pianificazione regionale nell'area di interesse.

Partendo dagli enunciati generali sopra richiamati e sulla base delle raccomandazioni e delle migliori pratiche internazionali [2], gli argomenti trattati nel presente documento sono stati raggruppati in sei tematiche ritenute di fondamentale importanza in un programma che ha come obiettivo la localizzazione del sito e la progettazione, realizzazione e operazione di un deposito di smaltimento di rifiuti radioattivi (di seguito "programma"):

- Quadro giuridico e normativo per la gestione dei rifiuti radioattivi
- Sistema di gestione
- Inventario e caratterizzazione dei rifiuti radioattivi
- Selezione e Caratterizzazione del Sito
- Progettazione del Deposito
- Analisi di Sicurezza

Le sei tematiche sono state quindi sviluppate in altrettanti capitoli con l'approfondimento opportuno in questa fase; ciascuna tematica andrà poi sviluppata ed ampliata in futuro con il grado di approfondimento adeguato allo stato di avanzamento del programma.

Di seguito si fa una breve sintesi del contenuto di ciascun capitolo:

A. Quadro giuridico e normativo per la gestione dei rifiuti radioattivi

Viene delineato il quadro giuridico e normativo che dovrebbe essere implementato, sostanzialmente in accordo con l'applicazione della "Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management" (di seguito "Joint Convention") [3].

B. Sistema di gestione

Sono esposti i lineamenti essenziali del "Sistema di gestione" che dovrebbe essere implementato in tutte le fasi del programma, secondo i requisiti specificati in IAEA GS-R-3 [9] e documenti correlati.

C. Inventario e caratterizzazione dei rifiuti radioattivi

Viene esposta la necessità di avere un adeguato inventario e un'affidabile caratterizzazione dei rifiuti radioattivi, sia di quelli esistenti sia di quelli di futura produzione, fin dalle prime fasi del programma.

D. Selezione e Caratterizzazione del Sito

Partendo dalle indicazioni della pertinente Guida IAEA [4] vengono delineate le problematiche di sitologia connesse con la localizzazione di un sito dove realizzare un deposito di smaltimento di rifiuti radioattivi di bassa e media attività (II Categoria).

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	8	52

Viene anche fatta una descrizione di massima degli strumenti già disponibili e/o da sviluppare a supporto del programma.

E. Progettazione del Deposito

Partendo dal rispetto dei requisiti di sicurezza riportati in [1] vengono indicati i criteri di progetto che ne discendono e vengono descritte le varie fasi della progettazione del deposito. Con riferimento al caso in esame (near surface repository) vengono sommariamente descritte le barriere ingegneristiche necessarie.

F. Analisi di Sicurezza

I riferimenti IAEA [1] e [6] forniscono le basi per la descrizione di massima delle metodologie di analisi di sicurezza necessarie nelle varie fasi del programma.

Altre tematiche trasversali, ma non per questo meno importanti, non sono qui trattate in quanto sono state oggetto di altre task della linea progettuale LP4, a cui si rimanda per approfondimenti:

- ricerca del consenso (comunicazione ed informazione);
- trasporto dei manufatti al deposito;
- security.

Non viene qui trattato esplicitamente il tema del deposito temporaneo (per presumibilmente 50-100 anni) per i rifiuti ad alta attività e/o lunga vita (III Categoria), che dovrebbe essere realizzato nello stesso sito del deposito definitivo dei rifiuti a bassa e media attività (II Categoria), in quanto le problematiche di carattere generale (quadro giuridico e normativo, sitologia, inventario, sicurezza, ecc.) sono sostanzialmente sovrapponibili a quelle relative al deposito definitivo senza peraltro richiedere le estrapolazioni di lunghissimo periodo (secoli) necessarie per il deposito definitivo. Per quanto riguarda le problematiche specifiche relative a progettazione, realizzazione ed esercizio del deposito temporaneo, per quanto complesso, esse non sono diverse da quelle di un qualsiasi altro deposito temporaneo di caratteristiche analoghe e fanno parte di un approfondimento eminentemente tecnico che non è oggetto del presente studio.

2 QUADRO GIURIDICO E NORMATIVO PER LA GESTIONE DEI RIFIUTI RADIOATTIVI

2.1 RIFERIMENTI INTERNAZIONALI

Negli ultimi anni si sta imponendo a livello internazionale il concetto di regime di sicurezza globale nel settore dell'energia nucleare, inclusa la gestione dei rifiuti radioattivi. Il regime globale di sicurezza è costituito da convenzioni e norme di sicurezza internazionali che supportano il quadro giuridico e normativo dei singoli stati [2].

Per quanto riguarda la gestione dei rifiuti radioattivi, la convenzione internazionale che si applica è la "Joint Convention" [3] di cui l'Italia è firmataria dal 1998 anche se il Parlamento l'ha ratificata solo l'8 Febbraio 2006 con entrata in vigore il 9 Maggio 2006.

A supporto della "Joint Convention" la IAEA mette poi a disposizione dei paesi membri tutta una serie di "Waste Safety Standards", il cui rispetto (facoltativo) garantisce un regime di sicurezza adeguato ai vincoli stabiliti dalla convenzione stessa.

Il rispetto della Joint Convention e dei Safety Standards della IAEA richiede l'istituzione e il mantenimento di un quadro legislativo e normativo per disciplinare la sicurezza del combustibile esaurito e della gestione dei rifiuti radioattivi.

Tale quadro deve prevedere come minimo:

- la definizione di requisiti di sicurezza e regolamenti applicabili a livello nazionale;
- la definizione di criteri di sicurezza radiologica per la fase post-chiusura del deposito di smaltimento;
- l'istituzione di un sistema istituzionale regolatorio, autorizzativo e di controllo;
- un sistema di controllo istituzionale;
- una chiara attribuzione di responsabilità per gli organismi coinvolti nelle diverse fasi della gestione dei rifiuti radioattivi (operatore/produttore dei rifiuti, autorità di sicurezza e controllo, gestore del deposito, ecc.).

I safety standards IAEA più rilevanti ai fini dei diversi aspetti della sicurezza della gestione dei rifiuti radioattivi sono:

- Near Surface Disposal of Radioactive Waste: Safety Requirements [1];
- Siting of Near Surface Disposal Facilities [4];
- The Principles of Radioactive Waste Management [5]; Questi principi sono stati recentemente incorporati, senza comunque cambiarne la filosofia di base, in un più generale documento di una nuova serie IAEA: Fundamental Safety Principles [13].
- Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste [6];
- International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	10	52

for the Safety of Radiation Sources [7];

- Legal and Governmental Infrastructure for Nuclear, Radiation, Radioactive Waste and Transport Safety [8];
- The Management System for Facilities and Activities [9].

In questi ultimi anni ci sono stati anche una serie di progetti di collaborazione internazionale in materia di sicurezza dello smaltimento di rifiuti radioattivi in depositi superficiali, i cui risultati indicano un crescente consenso internazionale sulle buone pratiche in questo settore [10] [11].

I recenti sviluppi internazionali hanno visto inoltre emergere l'importanza di adeguati programmi per informare, coinvolgere e ottenere il consenso del pubblico [12].

2.2 LA SITUAZIONE ITALIANA

Un quadro abbastanza esauriente della situazione italiana in termini di quadro giuridico e normativo è riportato nel documento: "Decommissioning e gestione rifiuti radioattivi: la situazione internazionale e italiana", A. Luce, FPN-LP4-002, prodotto nell'ambito della task B della stessa linea progettuale a cui si riferisce il presente documento.

Il quadro che ne emerge è sostanzialmente deficitario, in quanto orientato essenzialmente alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori con il sostanziale rispetto dei "Basic Safety Standards [7] con il D.Lgs. 230 e s.m.i.; è palese la necessità di uno o più provvedimenti legislativi che definiscano gli aspetti istituzionali, normativi e organizzativi focalizzati alla gestione dei rifiuti radioattivi, incluso lo smaltimento.

Tale necessità è stata anche messa in evidenza dal Gruppo di Lavoro ex DM 25 Febbraio 2008, nel Rapporto finale al Ministro dello Sviluppo Economico. Al momento della stesura le proposte del gruppo di lavoro, che qui si condividono, non hanno ancora avuto riscontro a livello governativo [14].

2.3 CONCLUSIONI

Il D.Lgs. 230/95 e s.m.i., comprensivo di 13 allegati tecnici, disciplina quasi tutti gli aspetti relativi all'impiego pacifico dell'energia nucleare, compresi il decommissioning e la gestione dei rifiuti radioattivi; necessita però ancora di alcuni decreti attuativi e leggi regionali per essere pienamente operativo.

Per quanto riguarda la gestione dei rifiuti radioattivi le disposizioni contenute nel D.Lgs. 230 impostano il problema solo a livello generale, rimandando il dettaglio a più specifici decreti attuativi in buona parte non ancora emessi, in particolar modo per lo smaltimento definitivo.

Nel corso degli ultimi anni si sono succeduti provvedimenti legislativi in modo disordinato e inefficace, sia per il ripetuto cambio di strategia in corso d'opera sia per la mancata risoluzione del problema del deposito nazionale di smaltimento definitivo dei rifiuti radioattivi.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	11	52

E' quindi oggi abbastanza condivisa la necessità di stabilire un quadro organizzativo dei soggetti coinvolti e un chiaro regime di attribuzione di responsabilità. Tale quadro dovrebbe comprendere come minimo:

- Una Autorità di regolamentazione e controllo nazionale indipendente (autorità di sicurezza nucleare) dotata di poteri, competenze e risorse umane e finanziarie sufficienti per adempiere ai compiti assegnati.
 - In questa direzione si sta andando con la discussione del Disegno di Legge 1195 che, al momento della stesura del presente documento, all'art. 17 stabilisce:

(Agenzia per la sicurezza nucleare)

1. È istituita l'Agenzia per la sicurezza nucleare. L'Agenzia svolge le funzioni e i compiti di autorità nazionale per la regolamentazione tecnica, il controllo e l'autorizzazione ai fini della sicurezza delle attività concernenti gli impieghi pacifici dell'energia nucleare, la gestione e la sistemazione dei rifiuti radioattivi e dei materiali nucleari, la protezione dalle radiazioni, nonché le funzioni e i compiti di salvaguardia degli impianti e dei materiali nucleari, comprese le loro infrastrutture e la logistica.

- Un insieme applicabile di leggi, norme e regolamenti che copra tutte le fasi della gestione dei rifiuti radioattivi, dalla produzione allo smaltimento, compresa la fase di sorveglianza post-chiusura del deposito.
- Un soggetto attuatore (o più soggetti) istituzionale¹ che abbia la responsabilità, i poteri e le risorse necessarie per tutte le fasi di:
 - selezione, scelta e qualificazione del sito, incluso il negoziato con le parti interessate;
 - progettazione del deposito, iter autorizzativo, costruzione del deposito
 - gestione del deposito fino alla fase di controllo istituzionale.

Resta all'operatore (produttore dei rifiuti) la responsabilità di condizionare i rifiuti in accordo con le specifiche di accettabilità stabilite dal gestore del deposito e rispettando i criteri di sicurezza stabiliti dall'autorità di regolamentazione e controllo.

Restano salvi e a carico del soggetto attuatore tutti gli adempimenti relativi al rispetto delle disposizioni vigenti in termini di Valutazione di Impatto Ambientale, per le parti applicabili.

¹ Definito "Agenzia" dal Gruppo di Lavoro ex DM 25 Febbraio 2008 sopra citato.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	12	52

3 SISTEMA DI GESTIONE

Il rifiuto radioattivo deve essere gestito in modo tale da evitare l'imposizione di un carico non dovuto alle generazioni future; vale a dire che le generazioni che producono il rifiuto devono cercare ed applicare le soluzioni più sicure, praticabili ed ambientalmente accettabili per la sua gestione nel lungo termine, secondo i principi fondamentali di sicurezza espressi in [13] al paragrafo 3.29. Il sistema di gestione² gioca un ruolo importante nell'applicazione di dette soluzioni e dovrebbe essere implementato per tutte le attività di gestione dei rifiuti, dalla loro generazione fino alla loro sistemazione finale.

Un sistema di gestione per tutti i processi legati al ciclo di vita dei rifiuti radioattivi è soggetto ai requisiti generali stabiliti in [9]. Raccomandazioni per il soddisfacimento di detti requisiti sono espressi nella Guida [15] in generale, mentre per l'applicazione specifica a un deposito di smaltimento di rifiuti radioattivi è disponibile la Guida [16].

Il sistema di gestione deve essere stabilito, implementato, analizzato e continuamente migliorato con l'obiettivo principale del raggiungimento e miglioramento della sicurezza. La sicurezza deve avere importanza prioritaria e quindi scavalcare ogni altra richiesta che la possa compromettere.

Il sistema di gestione dovrà identificare ed integrare anche:

- i requisiti espressi nella normativa specifica nazionale;
- qualsiasi requisito formalmente concordato tra le parti interessate (N.B.: Nel caso del deposito per rifiuti radioattivi si possono individuare come "parti interessate" l'esercente, l'ente regolatore e di controllo, i produttori di rifiuti, le amministrazioni nazionali e locali, la popolazione);
- requisiti espressi in altri codici e standard rilevanti adottati per l'uso da parte dell'organizzazione.

L'organizzazione dovrà essere pronta a dimostrare l'effettivo soddisfacimento dei requisiti del suo sistema di gestione.

Lo sviluppo di un sistema di gestione sarà anche influenzato da:

- standard internazionalmente riconosciuti come ISO 9001 per i sistemi di gestione per la qualità e ISO 14001 per i sistemi di gestione ambientali;
- guide associate con i requisiti definiti dagli organi regolatori dello stato;
- standard tecnici dell'industria nucleare.

Si riepilogano di seguito i principali requisiti del sistema di gestione applicato al caso in esame e che discendono dagli standards sopra richiamati:

² È usato il termine 'Sistema di Gestione' al posto di 'Assicurazione della Qualità' poiché il primo riflette ed include l'evoluzione nell'approccio dal concetto iniziale di 'controllo della qualità' (controllo della qualità del prodotto) attraverso la 'assicurazione della qualità' (il sistema che assicura la qualità del prodotto) alla 'gestione della qualità' (il sistema che gestisce la qualità). Il "sistema di gestione" è un insieme di elementi, interrelati ed interagenti, che stabilisce politiche ed obiettivi e che rendono tali obiettivi raggiungibili in modo sicuro, efficiente ed efficace.

- L'impegno della direzione a tutti i livelli deve essere rivolto alla costituzione, l'implementazione, all'analisi ed al continuo miglioramento del sistema di gestione e deve allocare risorse adeguate per la conduzione di queste attività.
- L'alta direzione deve sviluppare valori individuali, valori istituzionali ed aspettative comportamentali per l'organizzazione a supporto dell'implementazione del sistema di gestione e deve agire come modello nella promulgazione di detti valori ed aspettative.
- Le aspettative delle parti interessate devono essere considerate in modo tale da accrescere la loro soddisfazione, ma allo stesso tempo non compromettere la sicurezza.
- L'alta direzione deve sviluppare le politiche dell'organizzazione in modo che siano appropriate alle attività ed alle installazioni specifiche. Per il deposito di smaltimento rifiuti sarà specificato il requisito per la creazione e la periodica revisione delle politiche organizzative delle parti coinvolte e i dispositivi associati alla loro esecuzione. Tali politiche devono soddisfare sia gli aspetti di sicurezza, di protezione dell'uomo e dell'ambiente, di qualità ed economici che quelli relativi alla soddisfazione delle parti interessate.
- Un programma di Assicurazione della Sicurezza³ deve essere applicato a tutte le attività, strutture, sistemi e componenti del sistema di smaltimento dei rifiuti radioattivi. Sono incluse tutte le attività quali la selezione del sito, la progettazione del deposito, la sua costruzione, la sua conduzione, le varie fasi di analisi della sicurezza, la chiusura del sito, la tenuta delle registrazioni per un lungo periodo, i controlli istituzionali associati al deposito stesso. Tutto questo permette di fornire assicurazione che tutti i requisiti rilevanti per la sicurezza sono soddisfatti.
- Dall'inizio della fase di selezione del sito, alla costruzione del deposito e fino alla fine della fase di controllo istituzionale, deve essere designato un Esercente che assume la piena responsabilità del deposito. L'esercente sarà responsabile per l'istituzione e l'implementazione del programma di assicurazione della sicurezza, incluso l'ottenimento delle necessarie approvazioni da parte dell'autorità competente. L'esercente può delegare altre organizzazioni ad istituire e implementare tutto, o in parte, il programma di assicurazione della sicurezza ma deve mantenerne la responsabilità per la sua piena efficacia, senza pregiudicare le obbligazioni contrattuali e le responsabilità legali.
- Il programma di assicurazione della sicurezza per le attività associate al *siting* deve essere istituito all'inizio del processo del *siting* stesso. Esso dovrà fornire direttive per la produzione e per la conservazione della documentazione necessaria ad evidenziare ed ad illustrare che la qualità delle informazioni acquisite è sufficientemente elevata ad assicurare la sicurezza.
- Durante la progettazione, la costruzione e l'esercizio del deposito, deve essere implementato un programma di controllo con speciale attenzione al controllo degli eventuali cambiamenti nella progettazione delle barriere, nelle caratteristiche dei

³ (NdR) La documentazione normativa dell' IAEA di riferimento sta evolvendo verso il concetto di un sistema di gestione integrato per la sicurezza. L'uso del termine "Sicurezza" invece del termine "Qualità" aiuta all'interpretazione di documenti non ancora allineati al concetto citato (questi documenti sono comunque tutti in fase di revisione).

	Sigla di identificazione FPN – LP4 - 009	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 14	di 52
---	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

rifiuti ed nelle procedure operative, al fine di assicurare che non ci siano conseguenze inaccettabili sulla sicurezza.

- Il programma di assicurazione della sicurezza deve prevedere che la sicurezza del deposito per quando riguarda l'accettazione del rifiuto è responsabilità sia dell'esercente sia del produttore del rifiuto.
- Il produttore del rifiuto deve fornire tutta la documentazione necessaria a dimostrarne la conformità ai requisiti stabiliti dell'esercente del deposito. L'esercente del deposito deve riesaminare la qualità delle informazioni fornite dal produttore del rifiuto ed il suo programma di assicurazione della sicurezza così da fornire un adeguato livello di assicurazione delle caratteristiche di accettabilità del rifiuto.
- Anche per la fase di post-chiusura del deposito deve essere instaurato ed applicato a tutte le attività, strutture, sistemi e componenti un programma di assicurazione della sicurezza. In particolare, il programma deve provvedere alla raccolta ed alla preservazione di tutte le informazioni registrate durante le precedenti fasi che possano avere rilevanza per la futura sicurezza.

L'autorità di controllo deve sviluppare o avallare i requisiti per l'assicurazione della sicurezza per il deposito di superficie per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi. In linea di principio, i requisiti per l'assicurazione della sicurezza per la progettazione, costruzione e conduzione di un'installazione di deposito superficiale sono simili a quelle per le altre installazioni nucleari. Comunque, certe attività sono specifiche ai depositi superficiali. Ad esempio il ricevimento dei rifiuti, la chiusura e le azioni relative alla fase di post-chiusura possono richiedere speciale enfasi. L'autorità di controllo deve riesaminare il programma di assicurazione della sicurezza e ispezionare sistematicamente la sua implementazione e le registrazioni di controllo per la sicurezza.

4 INVENTARIO E CARATTERIZZAZIONE DEI RIFIUTI RADIOATTIVI

Un inventario dei rifiuti radioattivi da smaltire e del loro contenuto di radionuclidi dovrebbe essere definito e caratterizzato fin d'all'inizio della fase di progettazione concettuale del deposito di smaltimento.

L'inventario dei rifiuti dovrebbe includere non solo tutti i rifiuti radioattivi esistenti ma anche la produzione prevista per alcuni decenni nel futuro, al fine di poter sviluppare soluzioni per la gestione ottimale dei rifiuti senza essere costretti a rivederle dopo breve tempo.

Sulla base di queste informazioni possono essere già sviluppati progetti generici di impianti di smaltimento per le valutazioni di sicurezza preliminari. L'inventario può essere inoltre utilizzato anche per elaborare strategie nazionali per la gestione dei rifiuti radioattivi (ad esempio allo stato attuale è stato deciso di non optare per un deposito geologico in Italia in quanto la quantità di rifiuti ad alta attività è estremamente limitata).

A tale proposito si richiama l'attenzione sul fatto che la prevista ripresa dell'opzione nucleare in Italia dovrebbe essere tenuta in debito conto nell'elaborazione dell'inventario di riferimento per la scelta del sito e per la progettazione del previsto deposito di smaltimento dei rifiuti di bassa e media attività. Finora infatti le proiezioni che si sono fatte sulla produzione futura di rifiuti radioattivi sono state sempre riferite al decommissioning degli impianti esistenti e alla produzione di rifiuti di origine non elettronucleare. Infatti, se è vero che le previste nuove centrali nucleari cominceranno presumibilmente a produrre rifiuti solo tra oltre una ventina di anni e saranno smantellate dopo non meno di 50-60 anni di esercizio, è anche vero che le grandi risorse necessarie per un deposito di smaltimento e le problematiche di accettabilità da parte della popolazione consigliano di approfittare oggi dell'occasione per risolvere il problema una volta per tutte per non ripetere il processo una seconda volta tra 60 anni. Inoltre, la realizzazione di un impianto più capiente mitigherebbe, a priori, l'ostilità verso le nuove installazioni produttive.

L'utilità di un inventario dei rifiuti radioattivi dipende dall'affidabilità e dalla completezza delle informazioni raccolte. Le informazioni minime da raccogliere dovrebbero essere [2]:

- identificazione del produttore e/o del proprietario;
- luogo di produzione del rifiuto;
- tipologia di rifiuto (solido, liquido, comprimibile, non comprimibile, combustibile, non combustibile, ecc.);
- volume del rifiuto;
- radionuclidi presenti;
- attività per radionuclide;
- proprietà chimiche e fisiche;
- stato del rifiuto (trattato, non trattato, condizionato, non condizionato, nel caso le proprietà del materiale di condizionamento, ecc.);

 FPN	Sigla di identificazione FPN – LP4 - 009	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 16	di 52
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

- tipo e caratteristiche del contenitore o dell'overpack, se del caso (ad esempio materiali, dimensioni, peso e modalità di manipolazione);
- condizioni di stoccaggio attuali.

La conoscenza delle caratteristiche dei rifiuti è di fondamentale importanza per il tipo di condizionamento da adottare, il contenitore da usare, il tipo di smaltimento necessario. Le matrici di condizionamento hanno lo scopo di contribuire al confinamento dei radionuclidi all'interno dei contenitori e quindi devono essere definite in coerenza con processo di smaltimento.

I parametri da caratterizzare devono essere identificati al fine di predisporre attrezzature e procedure da implementare per la caratterizzazione dei rifiuti prima dello smaltimento.

I manufatti, composti dall'insieme del rifiuto condizionato e dal contenitore, sono essi stessi barriere di contenimento che contribuiscono all'isolamento dei radionuclidi dall'ambiente. Essi devono essere progettati e fabbricati per avere una sufficiente resistenza meccanica, per sopportare i carichi previsti dentro il deposito, per essere in grado di sopportare eventuali incidenti durante la fase operativa e di rispettare i requisiti per la movimentazione dei rifiuti, il trasporto e lo stoccaggio.

Di conseguenza in fase di progettazione e di fabbricazione dei manufatti bisogna prestare particolare attenzione a:

- comportamento durante la manipolazione, il trasporto, lo stoccaggio temporaneo e la ricezione nell'impianto di smaltimento, con particolare attenzione alle implicazioni per la protezione dalle radiazioni;
- compatibilità delle proprietà meccaniche con le caratteristiche delle strutture di smaltimento;
- evitare o ridurre il potenziale di rilascio di radionuclidi nell'ambiente durante il periodo di post-chiusura del deposito di smaltimento.

Per gli opportuni approfondimenti su questa tematica si rimanda a quanto prodotto nell'ambito delle Task C e D della linea progettuale LP4.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	17	52

5 SELEZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

5.1 PREMESSA

Le linee guida illustrate nei paragrafi seguenti sono dedotte da quanto definito nei Safety Standards IAEA: “Near surface disposal of radioactive waste: Safety Requirements” (1999) [1], “Siting of near surface disposal facilities” (1994) [4] e “Safety assessment for near surface disposal of radioactive waste” (1999) [6].

Nella totalità dei "casi di studio", utilizzati nella definizione degli standard menzionati, risulta evidente che le tematiche da tenere in considerazione, nel caso della selezione di un sito per la realizzazione di un deposito superficiale per lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi, sono principalmente:

- Geologia;
- Idrogeologia;
- Geochimica;
- Tettonica e sismicità;
- Processi morfologici superficiali;
- Meteorologia;
- Eventi indotti dall'uomo;
- Trasporto dei rifiuti;
- Uso del suolo;
- Distribuzione delle popolazione;
- Protezione ambientale.

5.2 ANALISI PROPEDEUTICHE E STRUMENTI PER LA SELEZIONE DI SITI CANDIDATI SUL TERRITORIO NAZIONALE

Prima di iniziare con le procedure per la selezione di un sito si fissano a priori dei criteri metodologici per l'esclusione di determinate aree del territorio nazionale, ovvero i cosiddetti “criteri di esclusione”. Già la Task Force ENEA, nelle sue attività svolte alla fine degli anni 90', aveva provveduto a proporre dei criteri di esclusione derivati dagli standards internazionali e dalle specificità italiane. I criteri di esclusione proposti furono anche avallati nel 1999 dal Gruppo di Lavoro di esperti costituito presso il Dipartimento della Protezione Civile (vedi risoluzione in **Allegato 1**).

Una delle prime cose da fare, con l'inizio delle procedure di selezione del sito, sarà quella di riesaminare e aggiornare tali criteri di esclusione, che in alcuni casi derivano da concetti puramente tecnici ma in altri casi derivano da considerazioni politiche o di opportunità che possono cambiare nel tempo, in base ad una diversa destinazione d'uso del territorio.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	18	52

5.2.1 Criteri di esclusione

Recentemente il Gruppo di Lavoro ex DM 25 Febbraio 2008, nel Rapporto finale al Ministro dello Sviluppo Economico [14], senza entrare nel merito dei criteri di esclusione stabiliti in passato, ha ribadito solo i criteri più generali derivati dagli standards internazionali di sicurezza, i cui concetti base sono condivisibili e quindi vengono considerati "capisaldi" anche nella presente trattazione.

I concetti di base sono sostanzialmente i seguenti:

- a) si deve assicurare che un acquifero non raggiunga in nessuna situazione prevedibile la barriera inferiore esterna del deposito;
- b) si deve assicurare che il deposito sia al di fuori di aree di esondazione o ristagno delle acque di ruscellamento;
- c) si deve assicurare che la natura del suolo sia tale da garantire un'ulteriore protezione di eventuali acquiferi;
- d) si deve assicurare che l'assetto morfologico ed idrogeologico sia tale da permettere una facile identificazione delle vie di deflusso delle acque sotterranee.

Esistono due approcci diversi per raggiungere la condizione a):

- ubicazione del deposito su formazioni argillose di forte spessore (**Allegato 2** - Carta della distribuzione delle formazioni argillose in Italia);
- oppure su di una formazione permeabile, ma che presenti un acquiclude (strato impermeabile costituito da argilla o roccia compatta) poco profondo.

La prima soluzione delle due rappresenta la condizione ideale perché non contiene falde idriche, la seconda soluzione invece, nel caso in cui siano presenti acquiferi profondi (**Allegato 3** - Carta idrogeologica d'Italia), implica che questi debbano essere separati dalla superficie da spessi livelli argillosi, con funzione di acquiclude.

La prima soluzione (Fig. 5.1), in presenza di un debole piano inclinato consentirebbe anche, in caso di incidente, il recupero delle acque contaminate in pozzi di recupero.

La seconda (Fig. 5.2) impedirebbe il ristagno di acque meteoriche, ma in caso di incidente provocherebbe comunque l'infiltrazione di acque inquinate in un mezzo poroso e pertanto diventerebbe necessario il monitoraggio e lo sviluppo di modelli matematici per la comprensione della diffusione degli inquinanti nel mezzo poroso. Per di più, tale scelta implica comunque l'assenza di pozzi artesiani nelle aree vicinali all'impianto, essi potrebbero essere infatti contaminati in caso di rilascio accidentale di radionuclidi e pertanto veicolarli verso gli acquiferi profondi.

I due approcci vanno comunque considerati entrambi validi e la scelta dell'uno o dell'altro va fatta nell'ambito della valutazione globale del sito candidato.

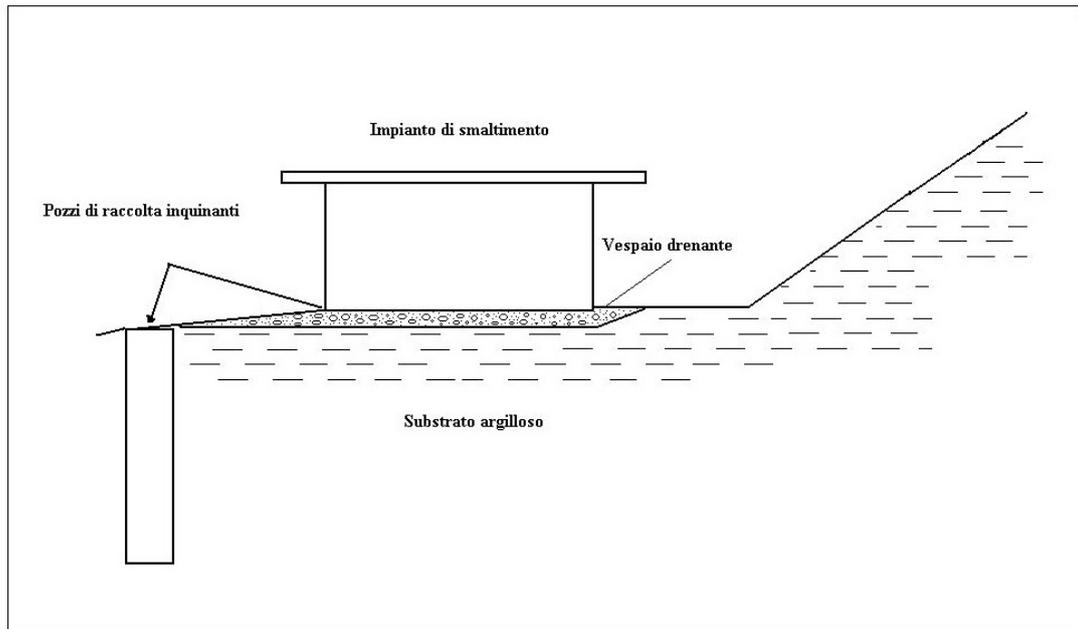


Figura 5.1 – Soluzione progettuale su substrato impermeabile e con pozzi di raccolta di effluenti liquidi in caso di incidente.

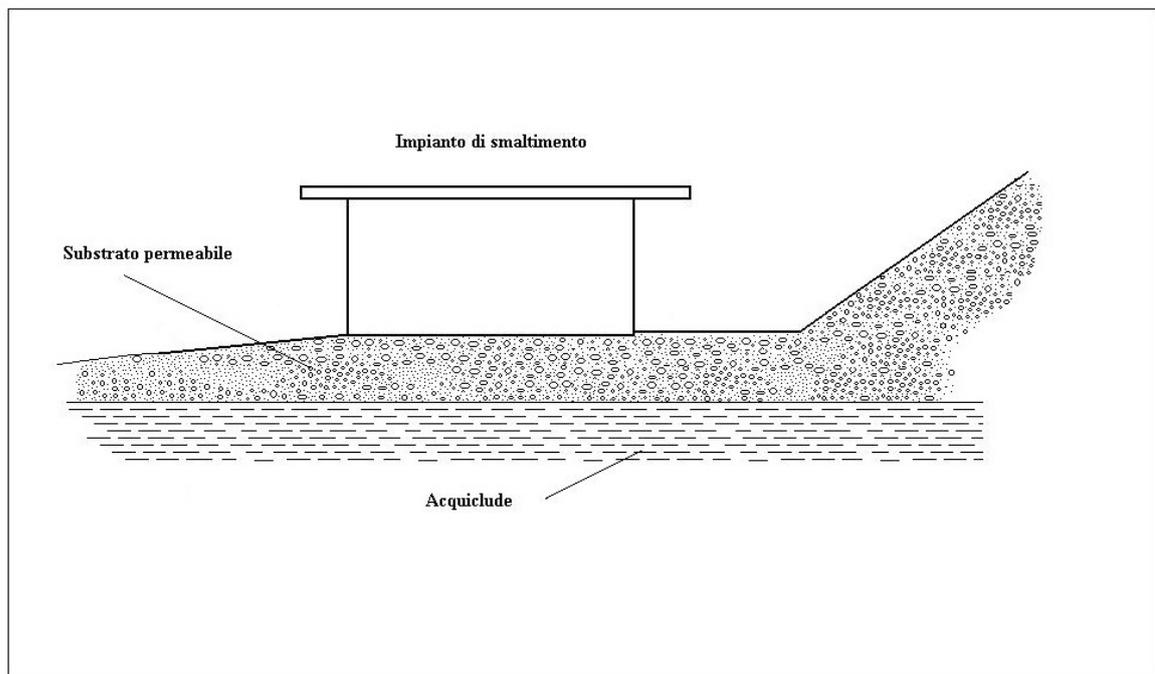


Figura 5.2 - Soluzione progettuale su substrato permeabile limitato verso il basso da un potente acquiclude.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	20	52

La condizione b) implica che il deposito non possa essere posizionato in prossimità di un corso d'acqua per il quale non siano noti i tempi di ritorno delle portate di massima piena, che sono necessari per definire il limite delle aree esondabili.

La condizione c) implica comunque la presenza di formazioni argillose che sono le uniche a proteggere gli acquiferi sotterranei, in quanto impermeabili e perché in grado, per la loro costituzione geochimica, di fornire una barriera naturale alla migrazione dei radionuclidi.

La condizione d) implica una reale ed approfondita conoscenza dello schema idrogeologico ed idraulico a scala regionale e locale.

5.2.2 L'applicazione dei criteri di esclusione

L'applicazione della filosofia precedentemente descritta conduce all'esclusione delle aree:

- a) che non siano caratterizzate da valide conoscenze geologiche, geotecniche e idrogeologiche, che renderebbero impossibili la modellazione dei processi di trasporto potenziali dei radionuclidi dal deposito verso l'ambiente esterno, in condizioni sia normali che perturbate, nonché un affidabile monitoraggio delle acque sotterranee in tutta la fase di vita del deposito, incluso il periodo di controllo istituzionale (non meno di 300 anni);
- b) in cui i processi tettonici (deformazioni e fagliazione superficiali) (**Allegato 4** - Carta neotettonica d'Italia), sismici (scuotimento e liquefazione dei terreni, accelerazione al suolo, ecc.), vulcanici (colate laviche, eventi piroclastici e freatomagmatici), e ogni altra manifestazione di mobilità verticale (uplift, tilting, ecc.) con conseguente erosione accelerata, siano attesi con frequenza ed intensità tali da menomare significativamente la capacità del deposito di rispettare gli obiettivi di sicurezza;
- c) potenzialmente esondabili o in cui possano crearsi condizioni di ristagno frequente o prolungato di acque meteoriche o superficiali anche a causa di eventi morfoevolutivi atti a determinare condizioni di endoreicità;
- d) con predisposizione all'instabilità e al dissesto dei versanti nel caso in cui i processi (in atto o potenziali) possano menomare significativamente la capacità del deposito di rispettare gli obiettivi di sicurezza;
- e) potenzialmente interessate da frequenti fenomeni meteorologici rilevanti (precipitazioni acquose o nevose di forte intensità, tornado e fenomeni elettrici) che possano influire, oltre che sulla sicurezza del deposito nel medio e lungo periodo, anche sulla sua operabilità ed agibilità;
- f) in prossimità dei centri abitati, in cui le attività umane attualmente presenti o di possibile insediamento nel lungo periodo, potrebbero interferire con le esigenze di sicurezza e di radioprotezione del deposito anche durante il periodo di controllo istituzionale (**Allegato 5** - Carta uso del suolo);
- g) nelle quali la realizzazione del deposito è incompatibile con vincoli normativi e di tutela del territorio (**Allegato 6** - Carta delle aree naturali protette);
- h) non facilmente raggiungibili con vie di comunicazione che possano rendere

minimo il rischio di impatto ambientale derivante dai trasporti.

Per quanto riguarda:

Punto a): possono essere privilegiate le aree caratterizzate da litotipi nei quali sono assenti, o sono molto poco probabili, circolazioni idriche profonde incontrollabili (tipo fenomeni carsici o con permeabilità secondaria elevata per fessurazione). Per questo motivo sono da individuare aree con depositi permeabili, che impediscono comunque l'impaludamento del sito, confinati verso il basso da un substrato impermeabile capace di isolare gli acquiferi profondi da eventuali percolazioni dal sito. In tale caso tuttavia, come precedentemente evidenziato, devono essere assenti pozzi artesiani nelle aree vicinali all'impianto, essi oltre ad essere direttamente contaminati nel caso di rilascio accidentale di radionuclidi, diventerebbero il veicolo d'inquinamento verso gli acquiferi profondi.

Punto b): In Italia sono presenti numerosi Distretti vulcanici ancora attivi che espongono al rischio vulcanico più di due milioni di persone: il Vesuvio e l'area dei Campi Flegrei in Campania e l'Etna, Stromboli, Lipari e Vulcano in Sicilia. Tutte le aree interessate dall'attività di tali vulcani sono pertanto da escludere ai fini dell'ubicazione del sito per lo stoccaggio. Gli effetti indotti dai terremoti rappresentano una delle fonti di pericolosità nei confronti dei siti da selezionare, infatti la presenza di zone sismogenetiche in aree vicinali al sito in esame (indicativamente entro un raggio di 100 km) rende possibile il manifestarsi, in occasione di terremoti, dei seguenti effetti:

- scuotimento del terreno, il quale è prodotto dal transito delle onde elastiche che si irradiano dalla faglia sismica alla superficie topografica; tenendo in considerazione che le onde sismiche subiscono spesso fenomeni di amplificazione quando attraversano corpi geologici in determinate condizioni litologiche e geomorfologiche;
- fagliazione della superficie topografica, prodotta dal prolungamento della faglia sismica, o di faglie ad essa associate, fino in superficie;
- subsidenza e sollevamento di origine tettonica, i quali si manifestano su vaste aree nelle zone epicentrali di grandi terremoti;
- liquefazione e cedimenti vari del terreno, dovuti alla modificazione delle caratteristiche meccaniche del mezzo sottoposto a sollecitazioni dinamiche;
- frane innescate dall'azione dinamica del sisma sui versanti o dalla liquefazione di strati di sottosuolo;
- maremoti e sesse (onde di sollevamento che si determinano da variazioni locali di pressione), dovuti alla veloce propagazione entro bacini marini o lacustri di onde lunghe prodotte dalla dislocazione del fondale a causa di terremoti con epicentro in mare.

La tipologia, l'entità e la frequenza con cui i sopra elencati fenomeni si verificano variano sensibilmente da zona a zona e dipendono dai tassi di sismicità regionali e dalle proprietà geologiche e morfologiche locali. Ne consegue che anche la pericolosità sismica varia sensibilmente da zona a zona.

Punto c): Sono da escludere le aree potenzialmente esondabili o in cui possano

crearsi condizioni di ristagno frequente o prolungato di acque meteoriche o superficiali anche a causa di eventi morfoevolutivi atti a determinare condizioni di endoreicità (chiusura dei bacini imbriferi - senza emissari verso il mare). E' possibile determinare l'esondabilità di tali aree o escludendo quelle aree caratterizzate dalla presenza di alluvioni di fondovalle, magari calibrate sui valori attesi di massima piena.

Punto d): In prima istanza sono da escludere quelle aree con predisposizione all'instabilità e/o al dissesto dei versanti nel caso in cui i processi (in atto o potenziali) possano menomare significativamente la capacità del deposito di rispettare gli obiettivi di sicurezza. Tali aree, generalmente, possono essere determinate già in fase di prima analisi in relazione alla loro pendenza (> del 5%), alla loro quota s.l.m. < 20; (a causa dell'inondabilità) e > 600 m (per le pendenze di norma elevate), alla litologia (prevalentemente argillosa o incoerente) ed alle condizioni climatiche (piovosità, gelo e rigelo, ecc.) dei versanti.

Punto e): sono escluse le aree potenzialmente interessate da frequenti fenomeni meteorologici rilevanti (precipitazioni acquose o nevose di forte intensità, tornado e fenomeni elettrici) che possano influire, oltre che sulla sicurezza del deposito nel medio e lungo periodo, anche sulla sua operabilità ed agibilità.

Punto f): sono escluse le aree in prossimità dei centri abitati in cui le attività umane attualmente presenti o di possibile insediamento nel lungo periodo, potrebbero interferire con le esigenze di sicurezza e di radioprotezione del deposito anche durante il periodo di controllo istituzionale. Anche le aree oggetto di attività agricole di particolare interesse economico devono considerarsi escluse. Il sito di smaltimento dei rifiuti radioattivi deve essere infatti caratterizzato da un basso grado di antropizzazione, oltre che per esigenze di radioprotezione, anche al fine ridurre il rischio di possibili intrusioni, attuali e per quanto possibile future, dovute ad esigenze di insediamento. Il grado attuale di antropizzazione dei territori è ben analizzabile attraverso i dati di occupazione del suolo (**Allegato 5** - Carte dell'Uso del Suolo); prevedere gli sviluppi futuri almeno a breve periodo dell'urbanizzazione richiede tuttavia l'analisi degli strumenti urbanistici, quali i P.R.G. dei Comuni e i piani paesistici regionali.

Punto g): Sono da escludere le aree nelle quali la realizzazione del deposito è incompatibile con vincoli normativi e di tutela del territorio (**Allegato 6** - Carta delle Aree Naturali Protette), come le aree naturali protette, le aree sottoposte a vincolo idrogeologico e le aree sottoposte alla Legge Galasso⁴. Altrettanto importante è comunque la tutela di aree ove sono presenti beni archeologici e architettonici. In particolare il rispetto della Legge Galasso determina l'esclusione di tutti i territori caratterizzati da: distanza dalla linea di costa e dai laghi inferiore ai 300 m; distanza dai fiumi inferiore ai 150 metri; quota superiore a 1800 m; presenza di ghiacciai e circhi glaciali; presenza di parchi, riserve nazionali o regionali e territori di protezione esterna dei parchi; boschi e foreste; aree assegnate alle Università agrarie.

Punto h): sono escluse le aree non facilmente raggiungibili con idonee vie di

⁴ Legge 8 agosto 1985, n. 431 (Galasso) - Conversione in legge con modificazioni del decreto legge 27 giugno 1985, n. 312 concernente disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	23	52

comunicazione, in modo tale che si possa rendere minimo il rischio di impatto ambientale derivante dai trasporti. In particolare le aree di esclusione, relativamente a questo punto, potranno essere definite più puntualmente solo a valle della definizione del "piano di trasporto", considerando la quantità dei rifiuti da smaltire.

5.2.3 Gli strumenti di selezione

Gli strumenti necessari per la fase di selezione sono i cosiddetti Sistemi Informativi Territoriali (SIT). L'ENEA ne ha sviluppati diversi in relazione a specifiche esigenze scientifiche: SIGEAC (Sistema informativo gestione aree costiere), SISI (Sistema per la Salvaguardia delle Infrastrutture e della Popolazione), ATLAS ed in particolare anche uno specifico basato su analisi GIS per la selezione dei siti per lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi a bassa attività.

L'importanza di un SIT risiede nel fatto che le Banche Dati (BD) ospitano moltissimi dei dati necessari per espletare questa fase di progetto. Se questi sistemi fossero dotati di un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS - Decision Support System) potrebbero addirittura fornire in automatico le risposte da vagliare.

Il SIGEAC (Sistema Informativo per la Gestione delle Aree Costiere), ultimato nel 2003, è stato sviluppato nell'ambito del Progetto Modellistica Costiera, è un Sistema Informativo Geografico Web-Oriented che comprende un Geodatabase contenente dati cartografici e alfanumerici relativi alla fascia costiera italiana e un'applicazione Web-GIS per la creazione e la condivisione via web dell'informazione [17].

Il SISI (Sistema per la Salvaguardia delle Infrastrutture e della Popolazione) [18], ultimato al termine del 2008. Nell'ambito del progetto CRESCO sono stati sviluppati strumenti GIS di diagnostica ambientale finalizzati all'individuazione di aree vulnerabili nei confronti di eventi naturali o antropici. Il concetto base adottato per la definizione di vulnerabilità è la compresenza, all'interno di aree di dimensione assegnata, di più elementi territoriali scelti dall'utente. E' stata sviluppata anche un'applicazione prototipale per la simulazione della massima risalita del moto ondoso (run-up) sulle spiagge in occasione di mareggiate.

Dopo aver identificato uno o più siti sul territorio nazionale applicando questi strumenti, può essere applicato un ulteriore criterio di valutazione ambientale, sviluppato dall'ENEA nell'ambito del progetto ATLAS, svolto in collaborazione con la Regione Emilia Romagna, per destinare l'eventuale deposito ad aree di minor pregio socio-economico-ambientale. La metodologia è abbastanza complessa e richiede una molteplicità di dati preesistenti, pertanto risulta fattivamente applicabile in una scala regionale e/o provinciale. L'utilizzo aggiuntivo di questa altra metodologia oltre a rappresentare un ulteriore elemento di selezione e quindi di sicurezza, rappresenta uno strumento per la ricerca di consenso presso "stakeholder", "policymaker" e popolazione in genere.

ATLAS [19] è infatti uno strumento di supporto alle decisioni (DSS) in tema di sostenibilità degli interventi sul territorio ed esprime la capacità di:

- interpretare la complessità territoriale, al fine di definire un quadro di riferimento sintetico per la razionalizzazione delle politiche di settore;
- la capacità di predizione, ovvero la capacità di stimare la sostenibilità di una

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	24	52

proposta di progetto sull'ambiente esistente e quindi valutare i livelli di trasformazione compatibili con le qualità ambientali individuate;

- la definibilità, ossia presentarsi come sistema chiaro, logicamente corretto e accessibile a chiunque;
- la comunicabilità, ossia essere comprensibile al pubblico.

Di grande rilevanza nel tema specifico è stato comunque il Sistema Informativo Geografico (GIS) per l'individuazione di aree potenzialmente idonee alla localizzazione di un deposito nazionale dei materiali radioattivi a bassa attività sviluppato dall'ENEA (con varie collaborazioni esterne) fino al 2001 [20].

In tale ambito fu sviluppato un GIS supportato da un'accurata metodologia per la selezione dei siti potenzialmente idonei allo stoccaggio dei rifiuti. Per quanto riguarda la selezione del sito, venne stabilito in termini generali che "il sito deve essere tale da fornire, oltre alle barrire del condizionamento ed a quelle ingegneristiche, una protezione radiologica secondo quanto stabilito dagli enti nazionali e dalle linee guida internazionali esistenti."

Il GIS realizzato si basava sulle seguenti componenti:

- una piattaforma Hw/Sw, costituita da un personal computer, dotato del GIS ArcView, completo dell'estensione Spatial Analyst e del linguaggio di programmazione Avenue;
- un database geografico, costituito sia di dati alfanumerici che di dati cartografici, vettoriali e raster, strutturati in shapefile, grid e tabelle, secondo i modelli dei dati gestiti da ArcView;
- le funzioni di analisi ed elaborazione dei dati, basate principalmente sulle funzioni della Map Algebra di Spatial Analyst e una serie di procedure sviluppate in Avenue, organizzate in estensioni ArcView.

La metodologia adottata può essere riassunta in quattro punti:

1. Definizione e applicazione della serie di criteri di esclusione implementabili in un sistema informativo territoriale e coerenti con le informazioni territoriali disponibili su tutto il territorio nazionale (analisi GIS di primo livello).
2. Iterazione della definizione e applicazione di criteri di esclusione su porzioni più ristrette del territorio nazionale ma a livelli di maggiore dettaglio di scala (analisi GIS di secondo livello).
3. Definizione e implementazione nel sistema informativo di una procedura di analisi parametrica sui singoli fattori fisici che determinano l'idoneità e descrivono le condizioni antropiche e infrastrutturali delle aree. Ciò utilizzando dati a scala locale e inserendo giudizi professionali (analisi GIS di terzo livello)
4. Selezione e classificazione delle aree potenzialmente idonee applicando una procedura appositamente sviluppata per il calcolo del grado di idoneità e dell'indice di inserimento territoriale.

Il lavoro delle analisi territoriali è stato quindi svolto per gradi ed è stato strutturato su tre livelli di dettaglio per scendere dall'analisi dell'intero territorio nazionale alle valutazioni a scala locale sulle aree individuate.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	25	52

In particolare:

- le analisi GIS di I livello sono state effettuate con dati e cartografia a scala 1:250.000 – 1:500.000;
- al II livello sono stati utilizzati dati a scala 1:100.000 – 1:250.000;
- al III livello la scala di analisi sale a 1:10.000 – 1:100.00.

I risultati delle elaborazioni hanno portato alla selezione di un certo numero di siti potenzialmente idonei. Successivamente il lavoro non è stato ulteriormente implementato per mancanza di indicazioni programmatiche all'ENEA.

5.3 FASE DI CARATTERIZZAZIONE SUI SITI CANDIDATI

In questa fase andranno fondamentalmente assommate le caratteristiche ingegneristiche del deposito con le caratteristiche ambientali del sito e/o dei siti prescelti nella prima fase, e valutata la loro compatibilità con l'ambiente. Le indagini da svolgere sul sito e/o sui siti sono di dettaglio e devono riguardare il suolo ed il sottosuolo, mediante sondaggi geognostici e Sondaggi Elettrici Verticali (SEV), per la definizione dei parametri geotecnici ed idrogeologici e quindi le condizioni meteo climatiche, mediante l'installazione di centraline per la raccolta di dati locali su venti, piovosità e temperature.

L'insieme di tali dati oltre ad essere necessario ai fini della progettazione esecutiva del deposito, costituisce la base conoscitiva per la realizzazione dei modelli matematici per la definizione degli scenari di rischio e per il monitoraggio dell'impianto.

La componente geologica del sistema può essere essa stessa ulteriore elemento di sicurezza, in termini di "barriera naturale", ma anche fonte di instabilità tale da poterne pregiudicare la sicurezza. In particolare per la migliore progettazione delle opere ingegneristiche, i siti dovranno essere caratterizzati in modo avere proprietà tali che la "pericolosità" locale non sia eccessivamente elevata.

In particolare, nei confronti di ogni effetto sismico, dovranno essere rispettate le seguenti condizioni: il sito dovrà essere caratterizzato da una bassa probabilità che si verifichi nell'arco di vita dell'opera in oggetto un sisma tale da produrre uno scuotimento sufficiente a danneggiare strutturalmente gli impianti; dovranno essere considerati con attenzione quei contesti geologico-geomorfologici atti a produrre effetti di amplificazione del moto sismico (macro- e micro-zonazione sismica).

Si può, in modo indicativo, scegliere come indice di scuotibilità l'accelerazione di picco del terreno (PGA) prodotta dalla propagazione delle onde sismiche. Questo è un parametro largamente utilizzato per il dimensionamento antisismico delle opere ingegneristiche. Non è il più sofisticato (a differenza di spettri ed accelerogrammi di progetto), ma la sua determinazione con metodologie probabilistiche è relativamente agevole e fornisce risultati sufficientemente attendibili.

Per questo studio il Servizio Sismico Nazionale ha elaborato e fornito la carta dell'andamento della PGA su tutto il territorio nazionale, la quale ha i seguenti attributi:

Metodologia	Probabilistica con zonazione sismogenetica (approccio alla Cornell)
Probabilità di non superamento	90%
Tempo di osservazione	300 anni
Tempo medio di ritorno	circa 3000 anni
Valori considerati	valori medi
Suolo di riferimento	substrato roccioso affiorante
Formato dei dati	griglia X,Y
Dimensione celle della griglia	1km * 1km

Il dato di accelerazione fornito non comprende così come è gli effetti peggiorativi di amplificazione del moto sismico provocati da particolari condizioni litologiche e morfologiche locali. Infatti, la PGA fornita è riferita ad un ipotetico sito su terreno rigido (roccia affiorante).

Rilevanti effetti di sito si presentano prevalentemente in contesti geologici di coperture detritiche, spesse da alcuni metri a poche decine di metri, sovrastanti substrati rocciosi (ad es., terrazzi alluvionali, conoidi di deiezione, delta, falde di detrito, colluvium, ecc.). Di minore importanza sono gli effetti derivanti dalla morfologia locale.

Al fine di ottenere un dato di accelerazione comprensivo di una stima a grande scala degli effetti di amplificazione locale del moto sismico, quindi un dato più attendibile, si può operare nel modo seguente:

- Fagliazione della superficie topografica: il sito dovrà essere collocato a debita distanza da faglie "capaci" conosciute, al fine di evitare danni agli impianti derivabili da un'eventuale futura improvvisa dislocazione a seguito di un terremoto o ad effetti (rari) di lento creep asismico.
- Subsidenza e sollevamento cosismici: gli impianti dovranno essere realizzati ed ubicati in modo tale da non subire effetti indiretti dovuti a tali movimenti tettonici, quali l'improvviso innalzamento differenziale del livello marino rispetto alla terraferma, o il basculamento della superficie topografica.
- Liquefazione e cedimenti vari del terreno: il sito dovrà essere collocato su terreni che presentano, nelle prime decine di metri di profondità, una suscettibilità alla liquefazione praticamente nulla al fine di evitare cedimenti di fondazioni degli impianti.
- Frane innescate dai terremoti: il sito dovrà essere collocato in posizione di sicurezza rispetto a versanti che manifestino instabilità gravitativa in condizioni dinamiche.
- Maremoti: il sito dovrà essere collocato a debita distanza plano-altimetrica da importanti masse d'acqua (mari, laghi, grandi fiumi) al fine da evitare i danni causati dagli effetti di run-up di eventuali onde di maremoto o sessa.

	Sigla di identificazione FPN – LP4 - 009	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 27	di 52
---	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

Sono prevedibili altri effetti nel medio-lungo termine:

- a) Attività idrotermale: risponde alla capacità del sito a non subire modifiche negative in termini di sicurezza (modifica dei circuiti e del chimismo delle acque sotterranee, ecc.) nel caso di fenomeni di natura idrotermale.
- b) Risposte idrologiche ed idrogeologiche: che corrisponde alla capacità del sito a non subire modifiche negative in termini di sicurezza nello sviluppo della rete idrografica di superficie e delle caratteristiche idrogeologiche, nel caso si verificano fenomeni di natura geologica a grande scala (sollevamenti, subsidenza, riattivazione di faglie, ecc.).
- c) Effetti al sito conseguenti a cambiamenti globali del clima : Capacità del suolo del sito a mantenere la stabilità in caso si verificano condizioni di permafrost (potenziale soliflusso), capacità del sito a non subire modifiche negative in termini di sicurezza (modifiche nel regime di erosione/sedimentazione dei corsi d'acqua) nel caso si verificano fenomeni di tipo tropicale (tifoni, tempeste, uragani, desertificazione), con conseguenti effetti sui processi di evoluzione geomorfologica del territorio.
- d) Possibili future azioni umane, posteriori al periodo di controllo istituzionale: Perforazione di pozzi per ricerche d'acqua, idrocarburi, etc., indipendentemente dalla questione della conoscenza o meno della presenza del Deposito.
- e) Andranno valutati i piani di sviluppo regionale e i PRG comunali per la verifica delle destinazioni potenziali del sito prescelto e semmai intervenire per introdurre in essi modifiche tali da lasciare il sito non interessato a futuri sviluppi sia urbanistici che agricoli.

6 PROGETTAZIONE DEL DEPOSITO

6.1 PREMESSA

Il presente capitolo è riferito in senso generale alle opere che dovranno essere realizzate presso il Sito prescelto per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi di seconda categoria.

Senza perdita di generalità, si riporta in proposito il layout di riferimento (fig. 6.1) previsto nel progetto concettuale elaborato da ENEA nel 2001 [21], ove, in un'area nel seguito definita "Centro", si prevedevano le seguenti installazioni :

- stazioni di condizionamento locale dei rifiuti
- laboratori di analisi e controllo
- fisica sanitaria
- edifici di servizio
- edifici amministrativi
- strutture di deposito

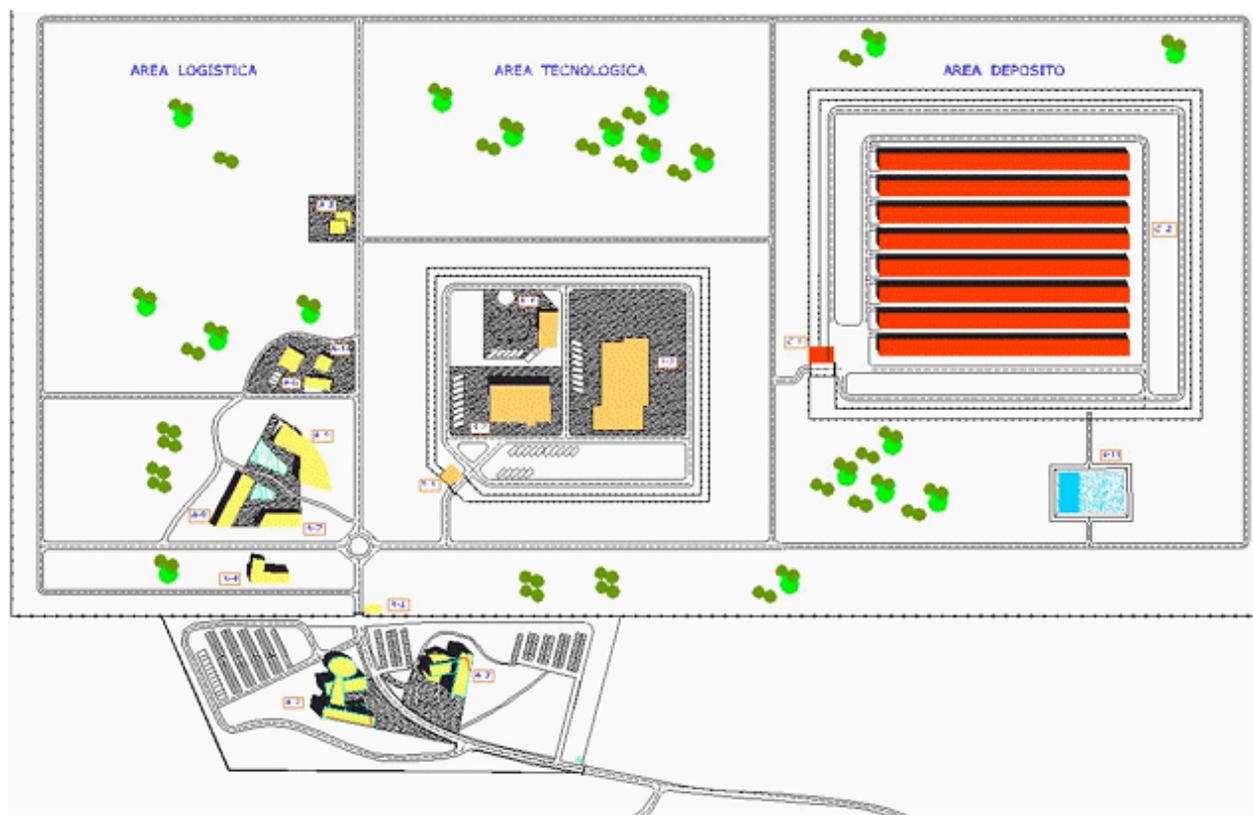


Figura 6.1 – Lay-out di massima

In particolare, in quanto segue, si riportano le considerazioni atte a fissare i requisiti minimi per la progettazione delle **strutture di deposito** e dei **sistemi ad esse**

funzionali (nel seguito: **deposito**) che costituiscono, per la loro peculiarità, l'aspetto realizzativo più significativo della gestione terminale dei rifiuti radioattivi.

Per quanto concerne le altre opere e sistemi presenti presso il Centro, essi non differiscono tipologicamente da strutture analoghe correntemente realizzate presso impianti nucleari, e pertanto si rimanda ai requisiti specifici prescritti dall'autorità di controllo per la loro progettazione, costruzione ed esercizio.

6.2 TIPOLOGIA REALIZZATIVA E ASSETTO GESTIONALE

La tipologia costruttiva cui ci si riferisce prevede che i manufatti condizionati (e i materiali radioattivi non necessitanti di condizionamento) vengano posti all'interno di cassoni prefabbricati in calcestruzzo armato ("**contenitori modulari**"), e ivi immobilizzati mediante un'apposita malta cementizia ("**grout**"), costituendo così i cosiddetti "**moduli**".

Tutti i moduli sono poi stoccati in strutture scatolari in calcestruzzo armato, definite "**unità di deposito**", all'interno delle quali, mediante setti trasversali, sono ricavati uno o più locali di deposito ("**celle**").

Gli spazi vuoti di ogni cella sono riempiti con materiale inerte monogranulare, fino alla copertura totale dei moduli, dei quali viene così garantita la recuperabilità. Completata tale operazione, si procede alla chiusura della cella con il getto di un solettone in calcestruzzo armato ed alla sua impermeabilizzazione.

Ogni unità di deposito è costituita da più celle allineate in successione lungo l'asse longitudinale, e dopo la chiusura di queste, essa viene ricoperta con un rilevato di materiale inerte su cui sono disposti strati alternati di sabbia, teli multistrato impermeabili e argilla; si ottiene così un sistema di confinamento configurato come indicato in fig. 6.2.

L'ultimo strato è costituito da terreno vegetale per favorire una migliore integrazione visiva della struttura nel contesto ambientale.

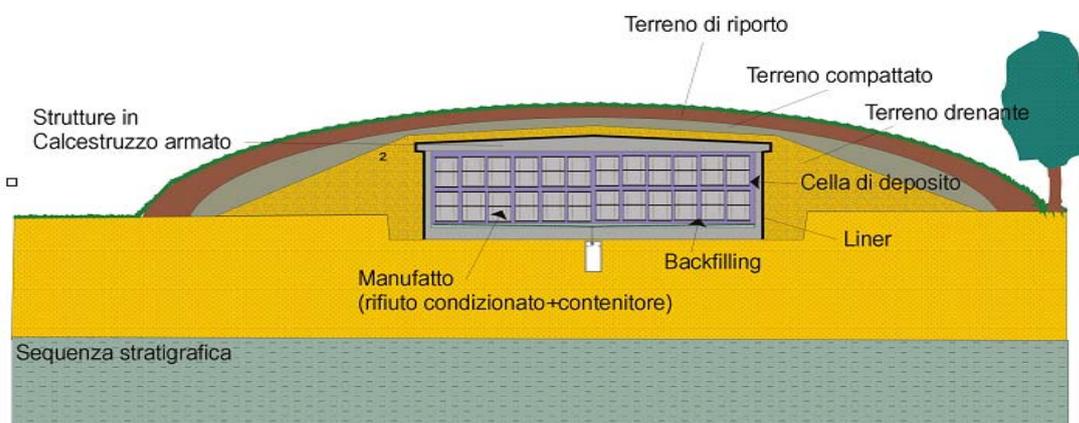


Figura 6.2 – Configurazione finale dell'impianto

Ogni unità, in fase di riempimento, è dotata di un sistema di copertura mobile su rotaie, necessario per impedire l'ingresso delle acque piovane e per proteggere i moduli dalle intemperie durante la loro movimentazione

I moduli, utilizzando una gru a cavalletto, sono sollevati dal mezzo di trasporto e disposti su più strati e più file all'interno delle celle. Tutte le operazioni sono eseguite in modo remotizzato, avvalendosi di un sistema di posizionamento dei moduli di tipo matriciale, assistito da un sistema video a circuito.

Successivamente la copertura mobile e la gru a cavalletto sono spostate lungo le vie di corsa a piano stradale e riposizionate sopra una cella successiva, per iniziare una nuova operazione di riempimento.

Le unità sono costruite tutte allo stesso livello al di sopra della falda freatica, per evitare il contatto tra le acque sotterranee e il fondo delle celle.

Al di sotto di ciascuna unità è disposta una galleria tecnica di servizio ispezionabile, utilizzata per l'alloggiamento dei sistemi di monitoraggio, dei collettori di raccolta dell'eventuale acqua di infiltrazione nelle celle e del collettore di drenaggio delle acque meteoriche raccolte dalle celle ancora vuote durante la fase pre-operazionale.

Al fine di uniformare il grado di sicurezza nel tempo, stanti le variabili dovute a motivi operazionali ed al tempo di decadimento dei rifiuti, l'assetto gestionale dell'impianto varia in conseguenza; generalmente il programma di sorveglianza e controllo è articolato in tre tempi, nel modo seguente:

- I. **fase operativa:** tale fase inizia con l'arrivo all'impianto della prima quantità di rifiuti e termina con la "sigillatura" del deposito, che avviene dopo il completamento dell'ultima barriera ingegneristica; in questo periodo di tempo, dell'ordine di circa 30-40 anni, la gestione dell'impianto, dal punto di vista della sorveglianza radiologica e della vigilanza esterna, è comparabile a quella di normali installazioni nucleari, quali ad esempio centrali di potenza, impianti di fabbricazione del combustibile, reattori di ricerca, ecc.
- II. **periodo di controllo istituzionale:** vi è solamente una vigilanza esterna, atta ad impedire l'accesso umano, ed è operato un monitoraggio ambientale per controllare l'efficacia dei sistemi di protezione o avvertire della necessità di interventi; in genere la durata del periodo è dell'ordine di qualche centinaio di anni.
- III. **rilascio illimitato:** inizia nel momento in cui l'impatto radiologico al sito è insignificante in rapporto alla locale radioattività naturale, e pertanto ogni forma di controllo può essere sospesa, lasciando comunque delle segnalazioni sull'esistenza dell'impianto alle future generazioni.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	31	52

6.3 OBIETTIVI E REQUISITI DEL PROGETTO

Al fine di definire i requisiti di progetto si considerano i nove principi fondamentali relativi alla gestione sicura dei rifiuti radioattivi, come indicato in [5]; in particolare, per il loro smaltimento se ne evidenziano cinque [22] :

- Principio 1: **protezione della salute umana** - i rifiuti radioattivi devono essere gestiti in modo tale da garantire un livello accettabile di protezione della salute umana.
- Principio 2: **protezione dell'ambiente** - i rifiuti radioattivi devono essere gestiti in modo tale da garantire un livello accettabile di protezione dell'ambiente.
- Principio 4: **protezione delle generazioni future** - i rifiuti radioattivi devono essere gestiti in modo tale che l'impatto sulla salute delle generazioni future non sia più gravoso dell' impatto oggi accettabile
- Principio 5: **oneri alle generazioni future** - i rifiuti radioattivi devono essere gestiti in modo tale da non imporre oneri inutili per le generazioni future.
- Principio 9: **la sicurezza degli impianti** - la sicurezza degli impianti per la gestione dei rifiuti radioattivi deve essere adeguatamente assicurata, durante il loro ciclo di vita.

Il perseguimento di questi principi, obiettivi generali per lo smaltimento, si traduce per il deposito in quello dei seguenti obiettivi specifici per la sicurezza:

- confinamento dei rifiuti;
- controllo dei rilasci;
- riduzione degli effetti dei rilasci;
- esclusione/minimizzazione della manutenzione.

Stante la tipologia dei rifiuti previsti, la progettazione dovrà mirare a fornire un adeguato isolamento dei rifiuti per un periodo di almeno 300 anni, tenendo conto delle loro caratteristiche e di quelle del sito.

Poiché, soprattutto oltre tale termine, potrebbero verificarsi alcuni processi o eventi tali da comportare il rilascio di radionuclidi, la progettazione dovrà garantire che tali rilasci non superino i limiti imposti dalle normative applicabili, e siano tenuti al livello più basso ragionevolmente conseguibile (principio ALARA), tenendo anche conto di fattori economici e sociali; le azioni manutentive a ciò necessarie dovranno basarsi di preferenza su sistemi passivi.

6.4 INTERFACCIE PROGETTUALI

La progettazione deve tenere conto di dati attinenti :

- le caratteristiche dei rifiuti;
- le caratteristiche del sito;

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	32	52

- gli aspetti operazionali

6.4.1 Caratteristiche dei rifiuti

Come già accennato al capitolo 4, i produttori di rifiuti dovranno mettere a disposizione del progettista e dell'operatore dell'impianto almeno i seguenti dati relativi ai rifiuti:

- **Contenuto in radionuclidi** - il tipo di radionuclidi e i loro livelli di radioattività determinano il periodo di tempo per il quale i rifiuti restano una fonte di pericolo; questi dati influenzano la natura e la durata delle funzionalità richieste al progetto, la quantità di dose ai lavoratori e, di conseguenza, l'impatto sugli aspetti operativi del progetto.
- **Origine e natura dei rifiuti** - i rifiuti provenienti da fonti diverse (ad esempio : produzione elettronucleare, smantellamento di impianti, ricerche mediche, ecc.) hanno proprietà diverse e di ciò si dovrà tenere conto nelle caratteristiche funzionali dell'impianto
- **Quantità dei rifiuti** - devono essere considerati sia in termini di quantità totale (massa e volume) che in funzione dei tempi di ricevimento; può essere previsto un futuro ampliamento dell'impianto, qualora divenisse necessario.
- **Dimensioni fisiche e peso** - influenzano la scelta dei sistemi di movimentazione e sono particolarmente importanti il tipo di contenitore e l'eventuale comprimibilità.
- **Contenuto e proprietà dei manufatti** - in termini di prevalenti radionuclidi, di altri contaminanti, e di proprietà fisiche, chimiche, meccaniche e radiologiche.

Possono essere sviluppati specifici criteri di accettazione allo smaltimento, ad esempio :

- limiti di radioattività nei singoli manufatti, nei lotti di consegna o nell'intera quantità da smaltire;
- dettaglio delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche (ad esempio, solo solidi/solidificati, non contenenti rifiuti infiammabili, piroforici, organici, liquidi o fluidi);
- dettaglio delle procedure per la loro identificazione.

Anche se non esistono norme internazionali che disciplinano la tipologia dei manufatti, può essere utile per la progettazione classificarli sulla base delle seguenti caratteristiche:

- **radioattività totale e specifica**, che potrebbe avere conseguenze per alcune opzioni progettuali;
- **rateo di dose di radiazione, dimensioni fisiche e peso**, che potrebbero imporre diversi sistemi di movimentazione;

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	33	52

- **ulteriori requisiti di trattamento e condizionamento presso il sito**, al fine di agevolare, se necessario, l'accorpamento in contenitori;
- **tipo di contenitore.**

6.4.2 Caratteristiche del sito

Le caratteristiche del sito sono informazioni in ingresso alla progettazione, in quanto il deposito dovrà essere compatibile con le caratteristiche del sito stesso; devono quindi essere individuati quei fattori, naturali ed antropici, che influenzano significativamente la progettazione.

Sono fattori naturali:

- **climatologia;**
- **idrologia;**
- **struttura geologica** e la sue proprietà (geomorfologia, fessure, faglie, sismicità, ecc.);
- **caratteristiche idrogeologiche e geochemiche** (permeabilità, modello di flusso delle acque sotterranee, chimica dell'acqua, il ritardo dei processi, ecc);
- **processi geomorfologici.**

Sono fattori antropici :

- **infrastrutture e servizi esistenti;**
- **disponibilità di spazio;**
- **uso del suolo;**
- **vicinanza alla sorgente dei rifiuti;**
- **topografia.**

Il ruolo dei progettisti è quello di compensare eventuali limitazioni del sito, di tipo fisico o chimico, con il miglioramento delle prestazioni delle altre parti del sistema (ad esempio imballaggi, materiale delle barriere, integrità delle strutture di deposito, ecc.) al fine di garantire la sicurezza globale.

Poiché eventi e processi (normali, anormali e accidentali) possono significativamente influenzare la sicurezza dell'impianto di smaltimento durante un determinato periodo, il progetto deve mirare a ridurre al minimo il loro impatto, avvengano essi durante la fase operativa o quella successiva alla chiusura.

6.4.3 Aspetti operazionali

Le fasi operazionali che si prendono in considerazione sono quelle della costruzione, dell'esercizio e della chiusura dell'impianto; in queste fasi deve essere garantito il medesimo livello di sicurezza.

Queste tre fasi possono sovrapporsi se l'impianto di smaltimento è costruito e gestito in maniera modulare.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	34	52

In quanto segue, l'accento è posto prevalentemente su aspetti di sicurezza radiologica, ferma restando la debita considerazione per tutti gli altri aspetti di tipo convenzionale, per i quali devono essere seguite le relative norme di sicurezza.

Per la **fase di costruzione**, si deve tenere conto delle informazioni relative a:

- procedure di costruzione;
- materiali da costruzione e dei componenti dal punto di vista della durabilità;
- disponibilità dei materiali;
- protezione da acque meteoriche o di infiltrazione, ed eventuale necessità di raccolta e trattamento oppure allontanamento;
- volume e natura dei rifiuti da smaltire;
- flusso previsto dei rifiuti in ingresso;
- servizi necessari nella fase di costruzione (energia, comunicazione, strade di accesso, ecc.)

La **fase di esercizio** è il periodo durante il quale i rifiuti arrivano all'impianto e vengono posti nel deposito; in particolare si considereranno le ricadute di:

- stoccaggio provvisorio;
- ispezioni e verifiche;
- decontaminazione;
- tracciabilità;
- ottimizzazione distributiva;
- protezione dalle acque meteoriche;
- eventuale necessità di compatibilità con le attività costruttive;
- compatibilità con le attività di stoccaggio e di chiusura.

Vanno inoltre tenute in conto attività amministrative e di medicina del lavoro quali:

- la protezione radiologica e il monitoraggio dei lavoratori;
- la protezione radiologica del pubblico potenzialmente esposto;
- il monitoraggio ambientale;
- le protezioni convenzionali;
- la decontaminazione del personale;
- la conservazione della documentazione.

E si devono inoltre prevedere:

- servizi di supporto (acqua, energia elettrica, acque reflue, riscaldamento, ventilazione, comunicazione);
- sistemi di decontaminazione per le attrezzature (ad esempio veicoli);

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	35	52

- fabbisogno di personale;
- manutenzione ordinaria e straordinaria.

La **fase di chiusura** è il periodo compreso tra la collocazione dell'ultimo modulo e l'inizio della fase di controllo istituzionale, con la dismissione delle opere ausiliarie.

La fase di chiusura va distinta dalle chiusure delle singole unità di smaltimento, potendo avvenire queste a distanza di archi temporali piuttosto estesi, in dipendenza delle necessità.

I principali elementi da considerare nella progettazione sono:

- stabilità e durabilità per l'intero periodo di controllo istituzionale;
- resistenza all'erosione;
- minimizzazione delle infiltrazioni d'acqua;
- drenaggio e controllo delle acque di scolo;
- compatibilità dei materiali usati per la chiusura con la durabilità di altre barriere;
- conservazione della documentazione relative all'intera storia dell'impianto (in particolare l'inventario, la distribuzione di radioattività, la segnalazione di materiali tossici, ecc.);
- barriere anti-intrusione;
- segnali di avvertimento appropriati;
- disattivazione degli impianti ausiliari;
- realizzazione di un'area cuscinetto.

In questa fase deve essere verificata la recuperabilità dei rifiuti, anche se non vi è alcuna intenzione al loro recupero.

6.5 BARRIERE INGEGNERISTICHE

6.5.1 Il concetto "multibarriera"

Gli obiettivi definiti in 6.3 sono perseguiti in modo ottimale attraverso l'applicazione del concetto "multibarriera", ove i rifiuti sono circondati da mezzi fisici continui, sia artificiali che naturali, detti barriere; queste sono poste in serie in modo ridondante, per costituire in modo sinergico schermo a radiazioni laddove necessario, impedire il possibile trasporto nella biosfera di radionuclidi da parte di acque di origine meteorica o sotterranea e formare protezione meccanica passiva contro intrusioni umane.

6.5.2 Tipologia e principali caratteristiche delle barriere

Le barriere sono raggruppabili in tre tipi, e sono presenti in maggiore o minore misura in ogni tipo di deposito :

- **barriere di condizionamento**, formate dalla matrice di inglobamento delle sostanze radioattive (cemento, bitume, polimeri, vetro, ceramica) e l'involucro esterno (parete sottile in acciaio al carbonio, calcestruzzo, acciaio inossidabile);
- **barriere di deposito**: strutture realizzate artificialmente nella costruzione del deposito, rivestimenti e strati di terreno trattato
- **barriere naturali**, rappresentate dalla struttura geologica del sito, che forma un semispazio o uno spazio di contorno alle strutture di deposito.

I primi due tipi di barriera costituiscono l'insieme delle **barriere ingegneristiche**; nel presente capitolo ci si riferisce alle sole barriere di deposito, considerando le barriere di condizionamento un input progettuale contenuto nelle specifiche di manufatto.

Al fine di massimizzarne l'efficacia, i mezzi che costituiscono le barriere dovranno possedere elevate proprietà chimico-fisiche.

In particolare, per un efficace azione fisica, per essi si richiedono adeguate caratteristiche meccaniche (alti valori di **resistenza a compressione e trazione**, resistenza a fatica, resilienza) e di impermeabilità (basso **coefficiente di permeabilità**), mentre l'azione chimica è commisurata alle capacità di ritenzione del mezzo.

Quest'ultima caratteristica è definita dal cosiddetto **coefficiente di distribuzione**, che ha le dimensioni inverse di un peso specifico ed è tipico di ciascun mezzo in rapporto ad un determinato radionuclide; esso si ricava dal rapporto tra la concentrazione di quel radionuclide in una forma solida del mezzo (in termini di mole/kg) e la sua concentrazione di equilibrio in una soluzione liquida (in termini di mole/m³) ove la forma solida sia immersa nel liquido.

La configurazione della tipologia di deposito in esame rispecchia in sequenza la serie di barriere sopra definita, diversamente dai depositi geologici, ove la struttura geologica del luogo costituisce la barriera fondamentale, dovendo essa stessa, in modo pressoché esclusivo, offrire alta impermeabilità ed essere dotata di elevate proprietà chimico-fisiche di ritenzione dei radionuclidi.

Nella tipologia di impianto in oggetto sono identificate le seguenti barriere :

- Malta (o "grout")
- Contenitore modulare
- Unità di Deposito (pareti e fondo)
- Unità di Deposito (copertura) o Prima Copertura
- Sottostrato di fondazione
- Copertura mobile
- Copertura finale

Alle succitate barriere che svolgono un'azione "passiva", si associano anche le barriere "attive", quali:

- materiale di riempimento

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	37	52

- sottofondo drenante
- sistemi di drenaggio e/o pompaggio

che allontanano acque meteoriche altrimenti ristagnanti.

6.5.3 Criteri di progettazione delle barriere

Le barriere devono essere progettate in modo da:

- ridurre al minimo il rilascio di radionuclidi dai manufatti
- limitare le infiltrazioni di acque di precipitazione o sotterranee;
- ridurre al minimo la probabilità di intrusione umana;
- limitare la dispersione di gas generati all'interno dell'impianto;
- fornire stabilità strutturale a lungo termine;
- proteggere l'integrità dei manufatti dalla penetrazione di agenti esterni;
- essere funzionali al monitoraggio ambientale e all'allontanamento delle acque meteoriche.

Ogni barriera dovrà essere descritta nel progetto, tramite:

1. dimensioni e caratteristiche dei materiali;
2. prove di qualificazione;
3. le specifiche realizzative;
4. misurazioni e controlli prima e dopo la messa in opera.

Particolare cura richiede la scelta dei conglomerati: a fronte delle possibili aggressioni ambientali, per essi deve essere prevista una durabilità strutturale ed impermeabilizzante pari almeno alla durata funzionale dell'impianto; ciò può essere ottenuto solo con accurata scelta degli inerti e del loro fuso granulometrico e con particolari additivi alle miscele, studiati in funzione delle condizioni ambientali circostanti l'opera, e di accorgimenti nella loro messa in opera.

6.6 CONTENUTI E FASI DI PROGETTO

Il processo di progettazione del deposito si articola in più fasi ed è di tipo iterativo, coinvolgendo aspetti relativi al confezionamento dei manufatti e al loro assemblaggio e movimentazione, ai materiali costruttivi, alle caratteristiche del sito, ecc. [22].

Il processo iterativo permette ai progettisti di condurre la progettazione nel rispetto dei requisiti di sicurezza e coerentemente con le buone pratiche di ingegneria, le esigenze operative, i costi e ogni altro vincolo.

Il processo di progettazione è quindi contestuale alla caratterizzazione del sito e dei rifiuti e delle attività di valutazione della sicurezza: l'interrelazione delle diverse componenti per la realizzazione di un impianto di superficie è mostrato in Figura 6.3.

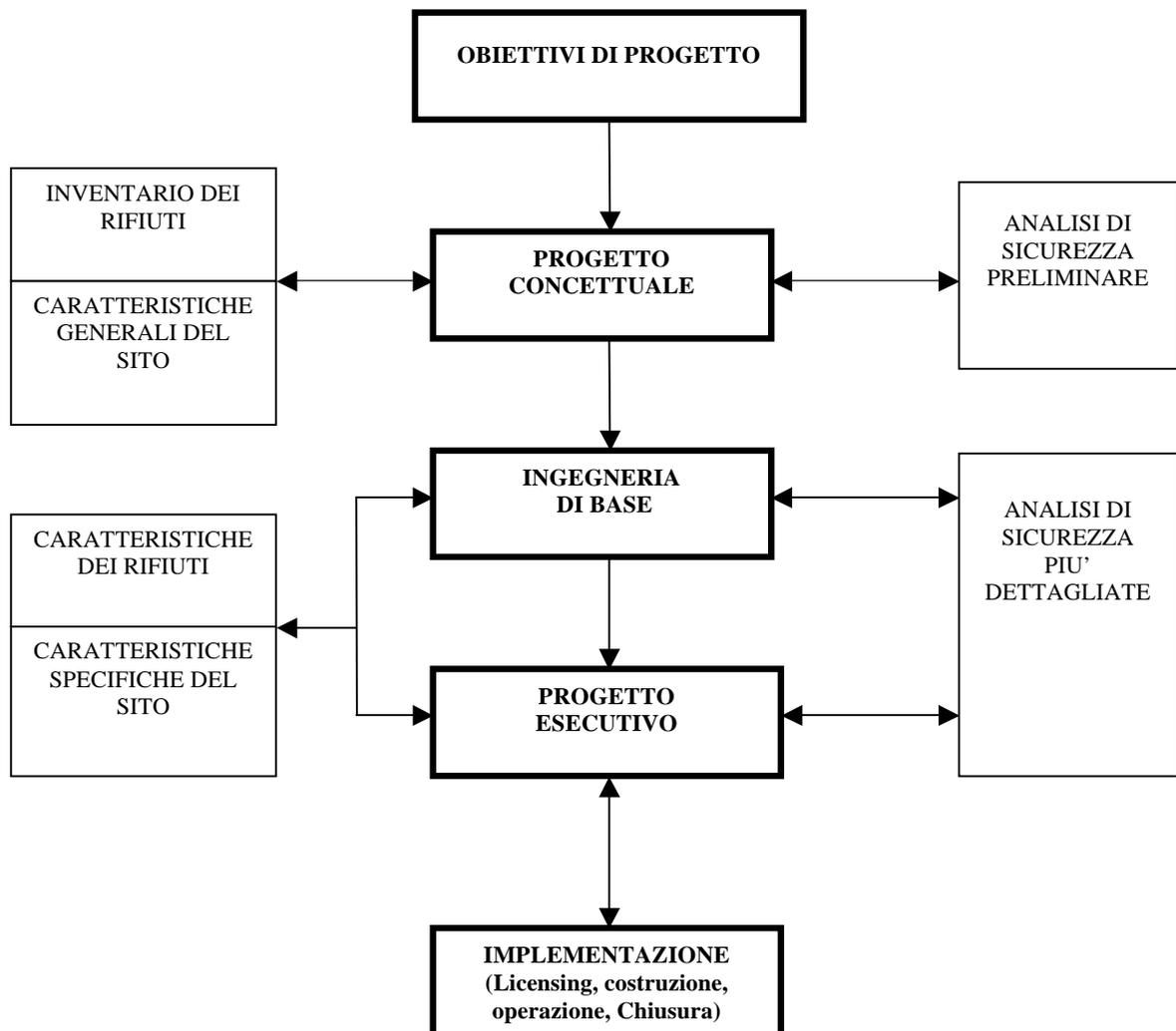


Figura 6.3 - Processo di progettazione

Nel seguito si prendono in esame le tre principali fasi di:

- Progettazione concettuale.
- Progettazione ingegneristica di base (o Progettazione di Massima).
- Progettazione esecutiva.

6.6.1 Progettazione Concettuale

L'obiettivo principale della fase di progettazione concettuale è quello di descrivere e giustificare la tipologia di deposito adottata. Questa fase permette l'elaborazione di

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	39	52

criteri generali di accettabilità per i manufatti, e fornisce una guida per le ulteriori informazioni necessarie relativamente al sito, ai rifiuti, alla loro caratterizzazione e per la successiva fase di progettazione di base.

Questa fase progettuale, che può essere sviluppata indipendentemente dal sito, consiste nella descrizione dell'opzione realizzativa che si ritiene più idonea e dei suoi sistemi principali.

Tale scelta, effettuata tenendo conto di fattori quali:

- la sicurezza (ad esempio, il rispetto dei principi di sicurezza stabiliti e degli obblighi di licenza);
- l'impatto ambientale (ad esempio compatibilità con le caratteristiche di siti disponibili o di siti generici);
- radioprotezione;
- fattori economici e sociali;
- costi.

descrive oltre alla tipologia delle barriere e dei materiali utilizzati, le modalità di movimentazione e di stoccaggio dei manufatti.

Per sviluppare un progetto concettuale sono richiesti:

- previsione sull'inventario dei rifiuti radioattivi (quantità, tipologia, origine);
- caratteristiche generali del sito (generiche se non lo si è ancora individuato, specifiche se è noto): geologia, idrologia, idrogeologia, geochimica, clima, condizioni del suolo, ecc.);
- criteri di sicurezza e regolatori (operazionali ed a lungo termine), ad es. limiti radiologici di riferimento.

In questa fase del processo di progettazione, vi è generalmente una mancanza di informazione specifica per quanto riguarda il sito e/o le caratteristiche dei rifiuti.

Analisi di sensitività possono essere utili a individuare le informazioni attese dalla caratterizzazione del sito e dai programmi di ricerca su rifiuti e materiali costituenti le barriere.

La progettazione concettuale può essere basata sulla selezione delle opzioni disponibili, e la loro fattibilità ed efficacia può essere valutata in rapporto agli obiettivi di progetto.

6.6.2 Progettazione Ingegneristica di base

L'obiettivo principale della Progettazione Ingegneristica di base (o Progettazione di Massima) è quello di confermare che l'opzione selezionata sia realizzabile e licenziabile. Si deve pertanto dimostrare che il deposito soddisfa tutte le norme di sicurezza e che può essere costruito e gestito in modo sicuro ed economicamente efficiente. Il risultato ottenuto viene usato per sviluppare l'Analisi di Sicurezza da utilizzare per il processo di *licensing*.

Ulteriori obiettivi sono:

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	40	52

- garantire che la progettazione è coerente con le specifiche di sito, ambiente, quantità e qualità dei rifiuti;
- definire più dettagliatamente l'impianto e tutti i suoi componenti;
- valutare e completare la fattibilità del progetto sia in termini di operazione sia in termini di sicurezza sdi lungo termine;
- valutare tempi e costi;
- definire ulteriori necessità di: dati sul sito, specifiche dei manufatti, studi addizionali di R&S, test sui materiali delle barriere ingegneristiche;
- definire le necessità di infrastrutturale addizionali nel territorio (trasporti, comunicazione, energia e altri servizi);
- individuare le informazioni necessarie al *performance assessment* e all'analisi finale di sicurezza;
- prevedere un sistema informativo per pubblico, istituzioni, industria e produttori di rifiuti;
- definire i requisiti e le specifiche per la movimentazione dei manufatti e investigare sulla disponibilità dei sistemi di movimentazione necessari;
- definire il programma di GQ per progetto esecutivo, costruzione, esercizio e chiusura;
- prevedere un sistema informativo a supporto degli studi di valutazione di impatto ambientale e socio economico.

La progettazione ingegneristica di base espande la progettazione concettuale incorporando tutte le ulteriori informazioni ottenute durante la fase di selezione e caratterizzazione del sito. Essa include:

- la descrizione generale del sistema di smaltimento e le singole unità all'interno del sistema, comprese le strutture ausiliarie e servizi;
- la descrizione delle attività di smaltimento, che vanno dall'accettazione dei manufatti al loro collocamento nelle strutture di deposito;
- la descrizione degli aspetti operazionali a lungo termine e dei requisiti per garantire la sicurezza dei lavoratori e delle popolazioni circostanti potenzialmente esposte e dell'ambiente;
- i requisiti di progetto per la chiusura;
- i dati che devono essere forniti per le valutazioni di sicurezza e i documenti che devono essere forniti all'autorità di controllo;
- la descrizione dei requisiti dei controlli istituzionali attivi e passivi e delle relative ricadute sulla progettazione.

Tutte le descrizioni sono supportate da documenti tecnici, quali relazioni, note, elaborati di calcolo, disegni, diagrammi, ecc.; tale documentazione deve essere completata con programmi operativi e stime dei costi. La documentazione deve essere archiviata in modo sicuro, e devono essere definite le procedure per la sua conservazione a lungo termine.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	41	52

La progettazione di base deve inoltre includere tutti i dettagli relativi a:

- ubicazione del sito di smaltimento;
- layout di impianto;
- preparazione del sito (scavi, drenaggio, movimento terra, strade, ecc);
- strade di accesso e di servizio, parcheggi, recinzioni;
- sistemi di drenaggio e allontanamento delle acque, eventuali punti di raccolta e di trattamento;
- sistemi ingegneristici di smaltimento e relativa copertura;
- sistemi di protezione radiologica e monitoraggio;
- sistemi di supporto (energia, riscaldamento, ventilazione, comunicazione);
- sistemi anti-incendio;
- security.

Le procedure operative preliminari vengono redatte in questa fase, per contribuire alla valutazione se il deposito può essere utilizzato in modo sicuro ed efficiente. Tali procedure, supportate da diagrammi e schemi, sono utilizzate per confermare che le quantità di rifiuti previste possono essere gestite in accordo ai criteri di sicurezza indicati per il sito.

Deve essere definita la zonazione del sito, con le relative condizioni di accesso; sono in corrispondenza da prevedere opportune recinzioni e schermaggi.

Qualora lo si ritenga necessario, si può prevedere un futuro ampliamento del sito, al fine di ospitare la costruzione di nuove strutture di deposito, che deve poter avvenire in corso di esercizio.

Devono essere definiti i provvedimenti in caso di incidente: deve essere quindi possibile il recupero dei manufatti per l'opportuna rilocazione.

Le stime dei costi possono essere fornite per quanto riguarda la costruzione e le attività operative. L'incertezza del costo stimato è una funzione del livello di precisione nei dati di input.

6.6.3 Progettazione esecutiva

L'obiettivo principale della progettazione ingegneristica esecutiva è quello di poter avviare le fasi di costruzione, esercizio e chiusura, confermando che l'impianto di smaltimento può essere gestito e chiuso in modo sicuro ed efficiente. Il progetto esecutivo deve essere completato con soddisfacimento delle pertinenti normative e delle richieste da parte dell'autorità di controllo; sono pertanto necessari:

- recepimento delle richieste dell'autorità di controllo in seguito all'esame del progetto di base;
- sviluppi progettuali che tengono conto di informazioni più dettagliate su sito, ambiente e manufatti;
- definizione dettagliata del sistema di smaltimento e degli impianti ausiliari con

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	42	52

relativa produzione dei necessari documenti di progetto (note di calcolo, disegni, specifiche, ecc.);

- finalizzazione delle specifiche per la costruzione, il procurement e la messa in funzione dell'installazione;
- finalizzazione delle stime dei costi per la costruzione, l'esercizio e la chiusura dell'impianto;
- completamento dei criteri di accettazione dei manufatti, specifici per l'impianto;
- ogni altra informazione necessaria ai fini del licensing;
- definizione del programma di sorveglianza ambientale e di sorveglianza radiologica che devono essere condotti durante le operazioni e dopo la chiusura dell'impianto di smaltimento;
- definizione delle necessità di personale operativo e della relativa formazione;
- informazioni a tutte le parti interessate in relazione alla chiusura definitiva dell'impianto;
- finalizzazione dei programmi di GQ per la costruzione, il funzionamento, l'avviamento, e la chiusura;
- preparazione di procedure operative, specifiche e manuali.

La progettazione esecutiva espande quanto contenuto nella progettazione di base, fornendo descrizioni più dettagliate su sicurezza, costruzione, esercizio e chiusura dell'impianto.

Il progetto comprende la maggior parte degli stessi elementi (impianti, edifici, sistemi, ecc), identificati nella fase di progettazione precedente. Tuttavia la descrizione del deposito, dei suoi sottosistemi e dei loro componenti è più dettagliata. Ogni componente del sistema di smaltimento è descritto e dimensionato a un livello di dettaglio idoneo per l'approvvigionamento, la costruzione, l'ispezione e l'esercizio. Ciò permette di definire una proiezione più dettagliata dei costi e di finalizzare le specifiche di approvvigionamento e di costruzione necessarie per le eventuali gare di appalto. In questa fase vengono pure preparati eventuali documenti aggiuntivi per l'autorità di sicurezza per ulteriori valutazioni di sicurezza nelle fasi di costruzione, operazione, chiusura e post-chiusura

Il risultato finale della fase di progettazione esecutiva consiste in definitiva in:

- progetto dettagliato del deposito nel suo complesso e dei singoli sistemi;
- analisi finale di sicurezza;
- soddisfacimento esaustivo dei requisiti normativi e di sicurezza ai fini del *licensing*.

7 ANALISI DI SICUREZZA

7.1 GENERALITÀ

La realizzazione di un deposito di smaltimento di rifiuti radioattivi di media e bassa attività presuppone l'avvio di un processo di progettazione, il cui scopo è quello di portare alla definizione di una struttura le cui caratteristiche siano tali da assicurare per un periodo di tempo superiore alla chiusura del deposito (non meno di 300 anni):

1. l'isolamento dei rifiuti dall'ambiente circostante;
2. il controllo costante di possibili rilasci di radioattività verso l'ambiente circostante;
3. la minimizzazione delle conseguenze di eventuali rilasci di radioattività, dovuti ad eventi imprevedibili, verso l'ambiente circostante.

La ragionevole certezza che una struttura di deposito possa soddisfare nel lungo termine gli obiettivi suddetti deve essere verificata attraverso l'analisi di sicurezza.

L'analisi di sicurezza si configura come un processo di valutazione del comportamento della struttura che si sta progettando al fine di stabilire la sua capacità di assicurare un adeguato isolamento dall'ambiente circostante dei radionuclidi contenuti nei rifiuti, sia nel corso della fase operativa del deposito, sia nelle fasi di post chiusura e di controllo istituzionale [6]. Si devono individuare e caratterizzare tutte le situazioni ed eventi che possano determinare, nelle varie fasi di vita del deposito ed in condizioni sia normali che incidentali, una potenziale diffusione della radioattività all'esterno del deposito.

Un'attenzione particolare va data alla identificazione delle possibili vie attraverso le quali la popolazione potrebbe essere esposta alle radiazioni e alla valutazione delle prestazioni dei sistemi che vengono utilizzati per limitare l'esposizione alle radiazioni entro limiti di dose ammissibili.

L'analisi di sicurezza deve valutare inoltre le conseguenze radiologiche di eventi che si verificano dopo la chiusura del deposito a seguito di processi che avvengono gradualmente nel tempo, come ad esempio il degrado delle barriere, oppure di eventi occasionali quali l'intrusione dell'uomo, anche inconsapevole. A tale scopo vengono ipotizzati vari scenari di evoluzione del sistema deposito-sito e per ogni scenario si utilizzano procedure cosiddette di **performance assessment** per valutare, con l'ausilio di sofisticati codici di calcolo, la capacità del sistema di deposito (barriere ingeneristiche) di mantenere nel tempo a livelli di non rilevanza gli impatti radiologici sulla salute dell'uomo e sull'ambiente.

In tale contesto assume particolare importanza la fase di **controllo istituzionale** post chiusura, che comprende il periodo di tempo che inizia dal momento in cui il deposito termina la sua fase operativa e finisce con il rilascio incondizionato del sito, vale a dire quando teoricamente la radioattività contenuta nei rifiuti non dovrebbe più rappresentare un pericolo per la popolazione e per l'ambiente circostante. Nella fase di controllo istituzionale l'analisi di sicurezza prevede il monitoraggio del sito.

Al termine della fase di controllo istituzionale si ha la cosiddetta fase di rilascio

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	44	52

illimitato, la quale non costituisce di per sé una delle fasi di vita del deposito, tuttavia deve essere considerata, in quanto l'analisi di sicurezza deve essere estesa anche al periodo successivo al rilascio del sito, allo scopo di verificare che il carico radiologico presente nel sito nel momento del rilascio stesso sia effettivamente tale da non comportare una potenziale esposizione radiologica della popolazione. Tale verifica di sicurezza stabilisce di fatto la durata della fase di sorveglianza.

Il processo per l'effettuazione dell'analisi di sicurezza si può riassumere orientativamente nei passi seguenti [6]:

- definizione degli obiettivi dell'analisi, dei requisiti di sicurezza e dei criteri delle prestazioni della struttura e degli impianti in essa contenuti;
- acquisizione delle informazioni sulle caratteristiche del sito;
- definizione del sistema di smaltimento e delle strutture ingegneristiche;
- acquisizione delle informazioni sui rifiuti, compresa la forma e tipologia degli imballaggi;
- identificazione delle caratteristiche, eventi e processi (i cosiddetti FEP's – features, events and processes), che potrebbero influenzare le prestazioni a lungo termine;
- sviluppo e sperimentazione di modelli concettuali e matematici del comportamento del sistema e dei suoi componenti;
- identificazione e descrizione degli scenari maggiormente significativi;
- identificazione dei percorsi che potrebbero consentire il trasferimento di radionuclidi dal deposito verso l'uomo e l'ambiente;
- effettuazione di analisi mediante modelli concettuali e matematici;
- valutazione dell'attendibilità dell'analisi;
- confronto tra i risultati dell'analisi con i requisiti di sicurezza stabiliti.

L'analisi di sicurezza di un sistema di smaltimento superficiale si basa, dunque, su un approccio multidisciplinare il cui obiettivo è, da una parte, quello di definire il sistema, inteso come sito del deposito, il deposito stesso ed il suo contenuto in materiali radioattivi, e dall'altra parte quello di valutare in maniera sistematica una serie di possibili eventi e processi che possono influire sulle prestazioni del sistema stesso.

La descrizione del sistema di smaltimento superficiale richiede informazioni sulle caratteristiche dei rifiuti, sulla progettazione del deposito e sulle proprietà del sito, e costituisce la base per lo sviluppo: di un modello concettuale del sistema di smaltimento dei rifiuti, degli scenari che possono influenzare le prestazioni del deposito e della valutazione dei potenziali percorsi di migrazione dei radionuclidi.

La quantità e la qualità dei dati richiesti dipenderà dall'obiettivo dell'analisi. Un'analisi preliminare potrà essere effettuata mediante modelli semplificati, il cui utilizzo richiede dati facilmente acquisibili. I risultati, di norma, saranno poi utilizzati come guida per approfondimenti successivi, in un processo iterativo, in corrispondenza a ciascuna delle fasi considerate.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	45	52

In particolare, nella finalizzazione del progetto e nella procedura autorizzativa dello stesso, l'operatore deve sostenere l'istanza con un'analisi di sicurezza basata su una serie di dati, affidabili e sufficienti, contenenti: la descrizione del sito, il progetto del deposito e le caratteristiche dei rifiuti.

I dati normalmente richiesti sono i seguenti [6]:

- (a) caratteristiche dei rifiuti (composizione dei radionuclidi in funzione del tempo, inventario totale, caratteristiche fisiche e chimiche, compresi i tassi di produzione di gas, parametri di trasferimento di massa nelle condizioni di smaltimento);
- (b) caratteristiche dei contenitori (prestazioni meccaniche e chimiche nelle condizioni di smaltimento);
- (c) caratteristiche del deposito (dimensioni, capacità di smaltimento, materiali strutturali, proprietà ingegneristiche);
- (d) caratteristiche del sito (geologia, idrogeologia, proprietà, geochimiche, condizioni);
- (e) caratteristiche della biosfera (habitat naturale, condizioni atmosferiche, situazione delle acque)
- (f) caratteristiche demografiche e socioeconomiche (uso del suolo, abitudini alimentari, distribuzione della popolazione).

7.2 ANALISI DI SICUREZZA NELLA FASE DI PROGETTAZIONE

L'analisi di sicurezza ha scopi diversi nelle varie fasi di vita di un deposito superficiale, vale a dire nella fase di progettazione, di esercizio e di post chiusura.

Nella fase iniziale della progettazione, l'analisi di sicurezza dovrebbe essere utilizzata per determinare la fattibilità dei principali concetti di smaltimento, ad indirizzare le indagini sul sito e a guidare l'iniziale processo decisionale.

Nel progredire della fase di progettazione, vale a dire quando si vanno focalizzando le caratteristiche del deposito e si dispone di informazioni sempre più numerose e sempre più approfondite (sul sito, sull'ambiente circostante, sulla natura e quantità di rifiuti che saranno smaltiti nel deposito) anche l'analisi di sicurezza assume una maggiore importanza, ponendosi come obiettivo il raggiungimento dell'ottimizzazione progettuale in termini di sicurezza del sistema nel suo complesso (vale a dire la struttura, le attrezzature operative, le modalità di smaltimento, la gestione del sito e le misure per la chiusura del deposito).

L'analisi di sicurezza e le prescrizioni contenute nell'autorizzazione all'esercizio dovranno consentire, inoltre, di definire in larga parte i principali requisiti di accettazione dei rifiuti al deposito, in particolare i requisiti per gli imballaggi dei rifiuti, il livello di attività dei rifiuti smaltiti, sia per i manufatti singoli che per il valore complessivo nel sito.

L'analisi di sicurezza dovrebbe essere utilizzata anche per valutare i potenziali percorsi di rilascio dei materiali radioattivi smaltiti nel deposito ed i livelli di esposizione, che questi possono provocare. In conseguenza di ciò l'analisi di sicurezza dovrà consentire di stabilire il programma di monitoraggio ambientale del

sito e dell'area circostante.

Il primo passo del processo di analisi dovrà consistere, dunque, nella valutazione del modello concettuale di deposito proposto, focalizzando l'attenzione sui percorsi ed i meccanismi di rilascio dei principali radionuclidi, che si prevede saranno smaltiti nel deposito, e di cui sarà necessario approfondire le conoscenze.

Nell'effettuazione di una prima analisi approssimativa, i dati possono essere ottenuti, ad esempio, attraverso: le ricerche in letteratura, le specifiche dei materiali, gli studi di laboratorio, il confronto con situazioni analoghe, le indagini preliminari sul sito e la caratterizzazione dei rifiuti.

Il processo dovrà proseguire successivamente con l'acquisizione di ulteriori dati, ad esempio, attraverso ricerche in campo e di laboratorio e l'utilizzo di adeguati modelli. Attraverso tali informazioni andrà sviluppato il progetto concettuale del deposito ed effettuata la verifica che questo sia conforme con i requisiti di sicurezza stabiliti.

Durante questo processo saranno identificati gli scenari maggiormente significativi. Nel determinare la rilevanza di ogni scenario per la valutazione del deposito e del sito può essere necessario effettuare ulteriori studi e raccogliere altri dati, che saranno utilizzati nelle ulteriori iterazioni del processo di analisi di sicurezza.

L'obiettivo finale dello sviluppo del modello concettuale è quello di fornire uno quadro che consenta di valutare il comportamento complessivo del sistema di smaltimento proposto.

In pratica si tratta di definire un progetto preliminare del deposito e dei componenti che ne fanno parte con un grado di dettaglio tale da poterne descrivere in modo esaustivo il comportamento nel tempo e di valutarne la conformità con i requisiti di sicurezza prescritti.

Lo sviluppo di un modello concettuale siffatto deve comprendere i seguenti passi:

(a) Identificazione e caratterizzazione dei rifiuti in termini di inventario, forma dei rifiuti e loro imballaggi. Queste informazioni devono essere sufficientemente dettagliate per consentire un'adeguata modellizzazione del rilascio di radionuclidi, vale a dire il termine sorgente. Il modello concettuale del termine sorgente può essere affinato in maniera iterativa dall'acquisizione di una maggior quantità di informazioni sui rifiuti e sul sistema di smaltimento.

(b) Caratterizzazione del sito di smaltimento con la definizione dei principali parametri, tra cui la geologia, l'idrogeologia, la geochimica, la tettonica e la sismicità, i processi di superficie, la meteorologia, l'ecologia, la distribuzione delle popolazioni locali e la loro situazione sociale ed economica. Queste informazioni sul sito sono necessarie per definire percorsi e recettori e quindi sviluppare un modello concettuale del sito fisico, chimico e biologico.

(c) Specifica di progetto del deposito, contenente la descrizione tecnica dell'impianto nel suo insieme e nei suoi sistemi componenti ausiliari, inclusa la strumentazione, i sistemi di controllo, i dispositivi di protezione ed i sistemi di raccolta e smaltimento dei rifiuti radioattivi.

 FPN	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	FPN – LP4 - 009	0	L	47	52

7.3 ANALISI DI SICUREZZA NELLA FASE DI ESERCIZIO

Il funzionamento di un deposito superficiale comprende l'avviamento, l'accettazione dei rifiuti, la loro collocazione, le attività di ingegneria ed altre attività assimilabili, quali il deposito temporaneo o il condizionamento definitivo dei rifiuti, in conformità con i presupposti progettuali e con le condizioni dettate dalla licenza di esercizio o da altre autorizzazioni concesse dall'autorità di controllo.

Al fine di garantire la conduzione in sicurezza delle operazioni nel deposito, devono essere applicati principi tecnici e manageriali ritenuti validi dall'autorità di controllo. In particolare, deve essere definito un organigramma (Regolamento di Esercizio), nel quale sono chiaramente definiti ruoli e compiti del personale operativo d'impianto.

Nel Regolamento di Esercizio deve essere definito, anche in numero adeguato, il personale, le qualifiche necessarie e l'esperienza richiesta per tutti i livelli dell'organizzazione.

A tal fine l'esercente provvede all'assunzione del personale con competenze adeguate e si assicura della coerenza del livello di know-how presente in tutte le discipline presenti.

Inoltre, l'esercente è tenuto a preparare un insieme di regole scritte, che consentano di gestire il deposito in maniera sicura ed in conformità con la normativa nazionale.

Tali regole devono tenere conto di:

- (a) criteri di protezione per i lavoratori professionalmente esposti e per il pubblico sia durante il normale funzionamento, che in caso di incidente;
- (b) eventuali limitazioni o condizioni operative stabilite nell'analisi di sicurezza;
- (c) i requisiti normativi per il funzionamento.

In particolare, le operazioni devono essere condotte conformemente a delle procedure e istruzioni scritte (Manuali di Operazione), predisposte dall'esercente, per assicurare che eventuali limitazioni o condizioni operative stabilite siano rispettate. Il controllo che tali procedure e istruzioni siano attentamente e correttamente seguite dai lavoratori spetta naturalmente all'esercente stesso. Il rispetto di quanto precede costituisce un fattore indispensabile nella conduzione delle attività in sicurezza.

Durante le fasi di funzionamento e di chiusura l'analisi di sicurezza deve considerare la possibilità di esposizione ai radionuclidi dei lavoratori e della popolazione. Tale esposizione può essere di routine o non di routine [22]. Si considera esposizione di routine quella derivante dal normale funzionamento della struttura e può avvenire sia per esposizione diretta ai rifiuti o agli imballaggi, sia per esposizione alle emissioni controllate solide, liquide e gassose provenienti dai rifiuti. Tale esposizione può essere minimizzata, utilizzando misure di protezione dalle radiazioni standard, che considerano la durata dell'esposizione, la distanza dalla fonte e la schermatura della fonte.

Si considera esposizione non di routine, quella derivante da anomalie di funzionamento dell'impianto (ad esempio incidenti impreveduti come guasti o errori di operazione, oppure eventi o processi che possono avvenire al di fuori della struttura). Tali anomalie possono essere ricondotte a: danni agli imballaggi dei rifiuti, dovuti a cadute, incendio o esplosione. Esse possono causare una dispersione non voluta dei

radionuclidi nell'ambiente circostante. Il loro effetto può essere limitato mediante il controllo dello stato ed il contenuto degli imballaggi dei rifiuti, la progettazione di barriere adeguate, e nello stabilire adeguate procedure operative d'impianto.

Infine, tutte le informazioni acquisite nel corso dell'esercizio del deposito (ad esempio i dati relativi ai rifiuti, al loro condizionamento, l'identificazione del luogo di deposito e le caratteristiche dell'unità di deposito) devono essere registrate dal gestore e tenute a disposizione dell'autorità di controllo. Tali informazioni andranno conservate come richiesto dalla normativa al fine di evitare il pericolo della loro perdita.

7.4 ANALISI DI SICUREZZA NELLA FASE DI POST CHIUSURA

Per la fase di post-chiusura di un deposito di superficie, il principale problema di sicurezza è la possibilità, in periodi di tempo molto lunghi, di rilascio all'esterno dei radionuclidi immagazzinati nel deposito con conseguente pericolo di esposizione alle radiazioni e di impatto ambientale. Alcuni eventi si può supporre che avvengano, ad esempio, a causa del progressivo deterioramento nel tempo delle barriere ingegneristiche predisposte per il confinamento dei rifiuti. Può in tal caso avvenire un rilascio all'esterno dei radionuclidi, contenuti nei rifiuti stessi, e la loro successiva migrazione verso l'ambiente esterno ed il trasferimento nell'uomo a seguito, per esempio, del trasporto dovuto ad acqua di infiltrazione. Pertanto, le valutazioni da fare su un deposito superficiale per rifiuti radioattivi di seconda categoria devono prevedere nella progettazione il comportamento del sito e dell'impianto per periodi di tempo dell'ordine di centinaia di anni.

Le difficoltà connesse con la proiezione del comportamento del sito e del deposito per questi periodi di tempo sono ciò che distingue l'analisi della fase di post-chiusura rispetto alle analisi di sicurezza delle altre fasi operative.

L'analisi di sicurezza della fase di post-chiusura deve, pertanto, tener conto che eventuali rilasci di radionuclidi nell'ambiente esterno possano verificarsi, non solo in seguito ad eventi progressivi, quali il degrado delle barriere, come citato in precedenza, ma anche a seguito di eventi distruttivi, che causino la rottura delle barriere di isolamento [22]. Esempi di tali eventi dovuti a cause naturali sono: il sisma, l'inondazione o insolite condizioni atmosferiche. Altri eventi distruttivi possono essere per cause antropiche come un'intrusione dell'uomo volontaria o non.

Comunque, come conseguenza di tali possibili eventi, mediante l'analisi di sicurezza sarà necessario valutare i possibili percorsi dei radionuclidi verso l'ambiente esterno e in particolare verso la popolazione circostante.

Relativamente alla fase di post-chiusura sono considerati i seguenti quattro percorsi e scenari associati, presi separatamente o in combinazione (attraverso un processo di identificazione degli scenari):

- il trasporto attraverso l'acqua, in soluzione o in sospensione;
- il trasporto sotto forma di gas;
- trasferimento diretto a seguito dell'intrusione dell'uomo;
- rilasci dovuti ad eventi naturali distruttivi.

La riduzione degli impatti nella fase di post-chiusura in termini di progettazione della

struttura, significa, ad esempio, analizzare i percorsi delle acque sotterranee, ottenere dei dati utili per la scelta del sistema di deposito (utilizzo del riempimento delle barriere, uso delle coperture, ecc.) e la conseguente progettazione (materiali, dimensioni, l'orientamento e la posizione del deposito all'interno dell'area prescelta per il sito).

L'analisi del percorso del gas può parimenti fornire un contributo per la progettazione dell'impianto di smaltimento per quanto riguarda la sua profondità, il tipo e lo spessore del materiale di copertura e la progettazione di un sistema di sfiato del gas.

L'analisi di sicurezza finalizzata alla individuazione di percorsi per possibili intrusioni può suggerire l'introduzione di requisiti che pongano dei limiti di attività all'interno del deposito, l'utilizzo di speciali barriere antintrusione da posizionare all'interno del sito selezionato.

Infine, se è probabile l'azione di effetti rovinosi dovuti a eventi naturali distruttivi, allora l'impatto dovuto alla dose per irraggiamento può essere mitigato attraverso l'uso di una progettazione più conservativa, come ad esempio l'utilizzo di pareti e coperture più spesse e più resistenti.

In conclusione, l'obiettivo dell'analisi di sicurezza nella fase di post-chiusura è quello di ottenere la ragionevole certezza che il deposito sarà in grado di fornire un sufficiente livello di isolamento del materiale radioattivo ivi smaltito per il periodo previsto fino al rilascio incondizionato del sito.

8 RIFERIMENTI

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Near Surface Disposal of Radioactive Waste: Safety Requirements, Safety Standard Series No. WS-R-1 IAEA, Vienna (1999)
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, An International Peer Review of the Programme for Evaluating Sites for Near Surface Disposal of Radioactive Waste in Lithuania. IAEA, Vienna (2006)
- [3] Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, INFCIRC/546, IAEA, Vienna (1997)
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Siting of Near Surface Disposal Facilities, Safety Series No. 111-G-3.1, IAEA, Vienna (1994).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F, IAEA, Vienna (1995).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste: Safety Guide, Safety Standard Series No. WSG-1.1, IAEA, Vienna (1999).
- [7] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Legal and Governmental Infrastructure for Nuclear, Radiation, Radioactive Waste and Transport Safety, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-1, IAEA, Vienna (2000).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Facilities and Activities - Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna (2006).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, ASAM — The International Project on Application of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Radioactive Waste Disposal Facilities: Scope, Objectives, Content and Work Programme, Ref. ASAM/G/0602, Version 1.0, IAEA, Vienna (2002).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities: Results of a Co-ordinated Research Project, Vol. 1: Review and Enhancement of Safety Assessment Approaches and Tools, IAEA-ISAM-1, IAEA, Vienna (2004).
- [12] OECD-NEA, Public Information, Consultation and Involvement in Radioactive Waste Management. An International Overview of Approaches and Experiences, Paris (2003)
- [13] EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC

ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna (2006).

- [14] MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO – Individuazione di procedure e metodologia per la scelta di un sito nazionale per la localizzazione del deposito dei materiali radioattivi e di strutture di ricerca tecnologica di alto livello – Rapporto finale del Gruppo di Lavoro ex DM 25 Febbraio 2008 del Ministro dello Sviluppo Economico (2008).
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities - Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for the Disposal of Radioactive Waste - Safety Standards Series No. GS-G-3.4, IAEA, Vienna (2008).
- [17] DE BONIS, P., FATTORUSO, G., GRAUSO, S., ONORI, F., PAGANO, A., PELOSO, A., PASANISI, F., REGINA, P., TEBANO, C. & ZARLENGA, F. - "SiGeAC: A Web-oriented GIS for Coastal Zone Management". MEDCOAST03: the 6th Int. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment. Ravenna, 7-11 October 2003, (2003).
- [18] DELLA ROCCA, B., FATTORUSO, G., LOCURZIO, S., PASANISI, F., PICA, R., PELOSO, A., POLLINO, M., TEBANO, C., TROCCIOLA, A., DE CHIARA, D., TORTORA, G. - SISI Project: Developing GIS-Based Tools for Vulnerability Assessment. Visual Information Systems, Proceedings 10th International Conference on Visual Information Systems, Salerno, 11-12 September 2008, pp. 327-330. Ed. Springer, Lecture Notes on Computer Science, (2008).
- [19] BARATOZZI L., BASILI M., BATTISTA A., CAGNOLI P., COLONNA N., DEL CIELLO R., N. FILIPPI, L., FORNI A., GHERARDI, V. MONTALETTI, OLIVETTI I., POLI G. & REGINA P. M. SCARELLI & F. ZARLENGA – Progetto Atlante. Quadro di riferimento, analisi degli strumenti esistenti, implementazione metodologica e applicazione prototipale. Volume edito a cura dell' ENEA, (2001).
- [20] ENEA-“Sistema Informativo Geografico per l’individuazione di aree potenzialmente idonee alla localizzazione del Deposito Nazionale dei Materiali Radioattivi a Bassa Attività. Stato delle attività al Marzo 2001”. Rapporto Interno ENEA.
- [21] ENEA - Centro di deposito definitivo dei rifiuti a BA. Progetto concettuale e di sistema del deposito superficiale e delle strutture di centro (Vol. I e II).
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical considerations in the design of near surface disposal facilities for radioactive waste, TECDOC – 1256 (2001)

 FPN	Sigla di identificazione FPN – LP4 - 009	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 52	di 52
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

ALLEGATI



Presidenza del Consiglio dei Ministri

DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

Risoluzione del Gruppo Di Lavoro "Destinazione Rifiuti Radioattivi"

Il Gruppo Di Lavoro di esperti costituito nel 1996 presso il Dipartimento della Protezione Civile, nell'ambito della sezione nucleare della Commissione Grandi Rischi, ai fini della valutazione di un programma di azioni teso a risolvere il problema della sistemazione definitiva dei rifiuti radioattivi presenti sul territorio nazionale, adotta la Risoluzione di seguito riportata.

Premesso che:

- il Gruppo di Lavoro, considerata la situazione logistica e l'inventario dei rifiuti italiani ha individuato come primario obiettivo la soluzione al problema della destinazione finale dei rifiuti radioattivi di II categoria;
- il Gruppo di Lavoro, per quanto attiene al combustibile irraggiato ed ai rifiuti radioattivi di III categoria, ha ipotizzato la soluzione di un immagazzinamento temporaneo in strutture ingegneristiche adeguate, da ubicare possibilmente nello stesso sito previsto per lo smaltimento dei rifiuti di II categoria;
- l'ENEA ha costituito una TASK FORCE per il Sito Nazionale di Deposito dei Rifiuti Radioattivi, incaricata di intraprendere le azioni di natura sitologica e progettuale dirette alla individuazione e qualificazione di un sito idoneo ad ospitare il deposito ed alla progettazione del sistema;

Il Gruppo di Lavoro riunitosi il giorno 22 febbraio 1999 presso il Dipartimento della Protezione Civile, alla presenza del Sottosegretario Franco Barberi, per esaminare i risultati delle ricerche effettuate ai fini di trarre delle conclusioni definitive a soluzione del problema, indica:

- 1) nella struttura ingegneristica superficiale (con soluzioni tecniche che tengano conto delle condizioni geologiche e morfologiche) la tipologia appropriata per lo smaltimento definitivo dei rifiuti radioattivi di II categoria, sulla scorta degli studi già espletati e di analoghe esperienze di altri paesi;
- 2) la opportunità di localizzare nello stesso sito di ubicazione del deposito definitivo dei rifiuti di cui al punto 1) l'infrastruttura per l'*interim storage* del combustibile irraggiato e dei rifiuti di III categoria condizionati;



Presidenza del Consiglio dei Ministri

DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

3) corretti i criteri metodologici, che sono stati adottati dalla TASK Force dell'Enea e che questo Gruppo di Lavoro condivide, per l'individuazione di aree e siti potenzialmente idonei alle soluzioni di cui al punto 1), di seguito riportati:

- esclusione delle aree prossime ai confini nazionali;
- esclusione delle aree insulari;
- esclusione delle aree già sottoposte a vincoli;
- esclusione delle aree prossime ai centri abitati, con distanze minime che variano in funzione del numero di abitanti;
- esclusione delle aree a distanza inferiore a 2 km da un'autostrada, 1 km da una strada statale, 1 km da una linea ferroviaria di interesse nazionale;
- esclusione delle aree di quota topografica superiore ad 800 m s.l.m.;
- esclusione delle aree di pendenza superiore al 30%;
- esclusione delle aree corrispondenti ad affioramenti di alluvioni recenti o attuali;
- esclusione delle aree caratterizzate da presenza di acque interne;
- esclusione delle aree di sismicità superiore al X grado della Scala MCS.

4) Tra le aree risultanti potenzialmente idonee in base ai predetti criteri di esclusione, verranno individuati i siti idonei sulla base dei criteri adottati nella migliore prassi internazionale, quali:

- vulnerabilità degli acquiferi;
- stabilità geologica;
- uso del suolo;
- presenza di abitazioni, rilevabili soltanto attraverso un successivo studio su scala di maggior dettaglio;
- livello di sviluppo dell'area.

Inoltre dallo studio effettuato è emersa l'impraticabilità dell'ipotesi di utilizzare, nel territorio peninsulare, miniere o cave come sito per il deposito, in quanto:

- o meccanicamente instabili;
- o non idonee (per la presenza di falde o acquiferi) dal punto di vista idrogeologico;
- o sottoposte alla cosiddetta "chiusura mineraria".

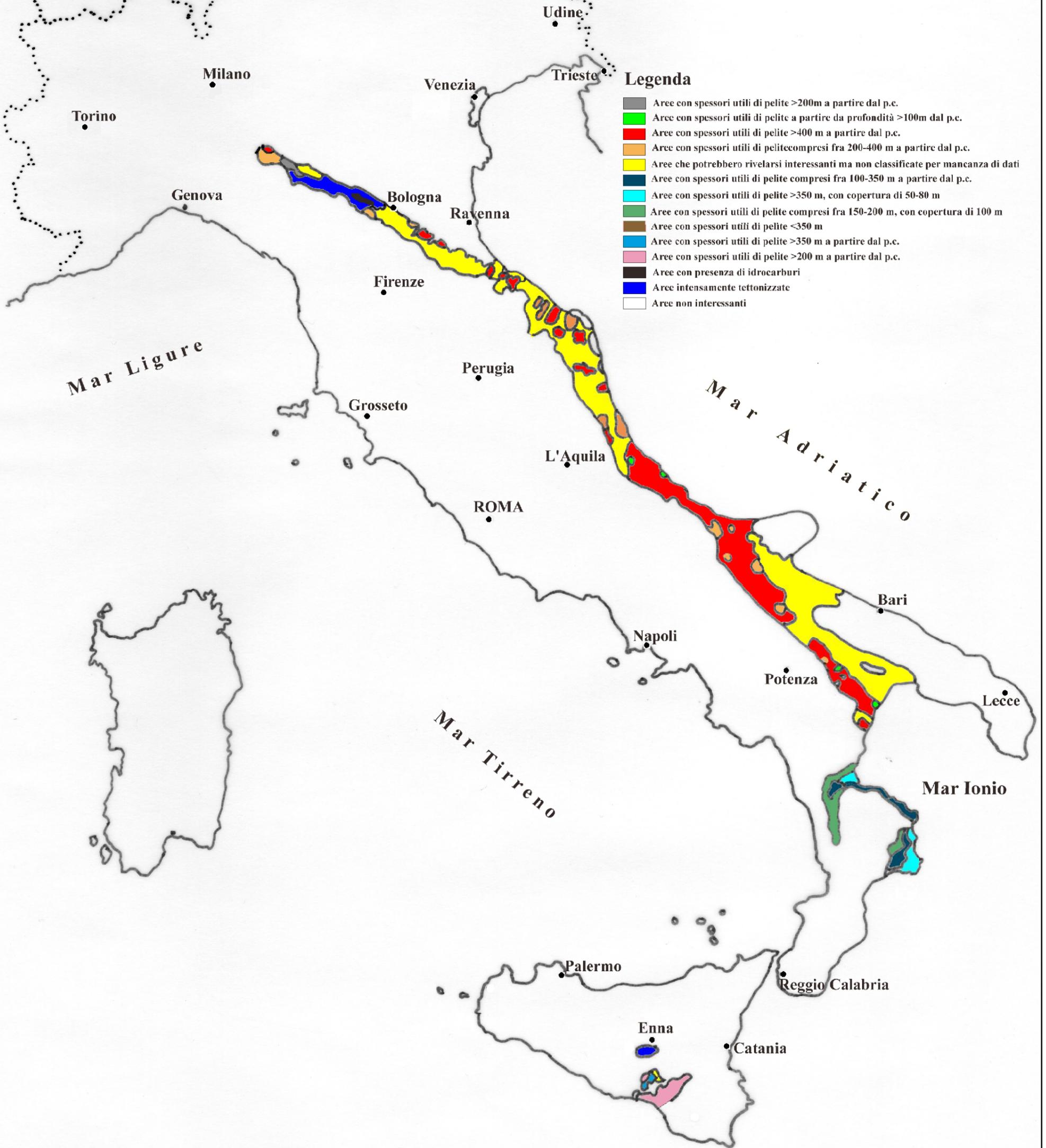
Il Gruppo di Lavoro, dopo avere condiviso i criteri metodologici seguiti per l'identificazione di siti idonei, adotta la risoluzione di cui sopra, ed invita la TASK FORCE dell'Enea a tenere informato, nel corso dello svolgimento dei compiti ad essa demandati, il Gruppo di Lavoro stesso e il Dipartimento della Protezione Civile sullo stato di avanzamento dei programmi e sul complesso processo di scelta del sito, ed invita il Sottosegretario Prof. Franco Barberi a sollecitare il Governo perché dia l'avvio al processo di scelta del sito specifico e delle opere di realizzazione della struttura.

Prof. CARLO BERNARDINI
 Prof. RENATO FUNICIELLO
 Dott. ALDO BRONDI
 Dott. PIERO RISOLUTI
 Dott. MARCO AMANTI
 Dott. SERGIO D'OFFIZI
 Dott. GIUSEPPE GROSSI
 Dott. LEONELLO SERVA
 Dott. LUIGI NOVIELLO
 Prof. MAURIZIO CUMO
 Dott.ssa GRAZIA GIAMO

Presidente *Carlo Bernardini*
 Componente *R. Funiciello*
 Componente *Aldo Brondi*
 Componente *Piero Risoluti*
 Componente *Marco Amanti*
 Componente *Sergio D'Offizi*
 Osservatore *Giuseppe Grossi*
 Osservatore *Leonello Serva*
 Componente *Luigi Novello*
 Osservatore *Maurizio Cumo*
 Segretario *Grazia Giamo*

Carta degli spessori delle formazioni argillose (peliti) nel settore di Avanfossa Adriatica

Allegato 2 al Doc. FPN-LP4-009





CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA

Allegato 4 al Doc. FPN-LP4-009

BELETTA - UNIMI

NEO-STRUCTURAL DOMAINS

Pre-Pliocene Alpine chain. Deformations by normal and, locally, by wrench faults.

Strong and nearly continuous uplift in Pliocene and Quaternary

Inner sector of the South Alpine-Dinaric margin strongly deformed in Pliocene and Quaternary.

Strong uplift since Early Pliocene

Up and down movements with tendency to uplifting in Pliocene and Quaternary.

Pliocene foreland strongly deformed since Late Pliocene.

Prevailing lowering until Middle Pleistocene followed by uplift.

Pliocene-Quaternary foreland weakly deformed by normal and, locally, by wrench faults.

Uplift in Pliocene and Quaternary interrupted at places by lowering in Early Pleistocene.

Prevailing moderate lowering in Pliocene and Quaternary.

Pliocene-Quaternary foredeep weakly deformed mainly by normal faults and, locally, by folds.

Continuous and intense lowering in Pliocene and Quaternary.

Mostly lowering until Early Pleistocene followed by uplift.

Mostly lowering in Pliocene and Quaternary.

Pliocene-Quaternary foredeep strongly deformed by reverse faults and thrusts.

Intense lowering in Pliocene and Quaternary.

Intense lowering until Early Pleistocene followed by strong uplift.

Intense (Northern Adriatic Sea) to weak (Western Sicily Shelf) lowering in Pliocene and Quaternary.

Pliocene (locally Early Pleistocene) foredeep affected by strong crustal shortening.

Deformations initially by folds, reverse faults, thrusts and subsequently (mostly since Middle Pliocene) by normal faults; in Northern Apennines deformations by folds, reverse faults and thrusts in Pliocene and Quaternary.

Prevailing lowering until Early Pleistocene followed by uplift.

Prevailing lowering in Pliocene and Quaternary or mostly in Quaternary.

Intense to moderate lowering until Early Pleistocene followed by uplift or standstill.

Apenninic chain (submerged in Sardinia Channel and Messina Strait) affected by intense crustal shortening.

Deformations by folds, reverse faults and thrusts in Early-Middle Pliocene and by normal faults since Late Pliocene; on the Northeastern Apenninic side deformations by wrench and reverse faults, locally with gravity slidings, also in Late Pliocene and Quaternary.

Nearly continuous uplift in Pliocene and Quaternary with tectonic troughs developing during Pliocene and Quaternary or during Quaternary only.

Prevailing lowering in Pliocene and Quaternary, locally uplifting afterwards.

Mostly stable, locally uplifting, in Pliocene and Quaternary.

Pre-Pliocene chains and Sardo-Corsican block variously disrupted and founded in Pliocene and Quaternary.

Deformations by normal faults, locally by wrench and normal rotational faults.

Nearly continuous uplift in Pliocene and Quaternary.

Prevailing lowering (with standstill and/or uplift phases) in Pliocene and Quaternary

Basins lowering in Pliocene and Quaternary.

Basins lowering mainly in Quaternary.

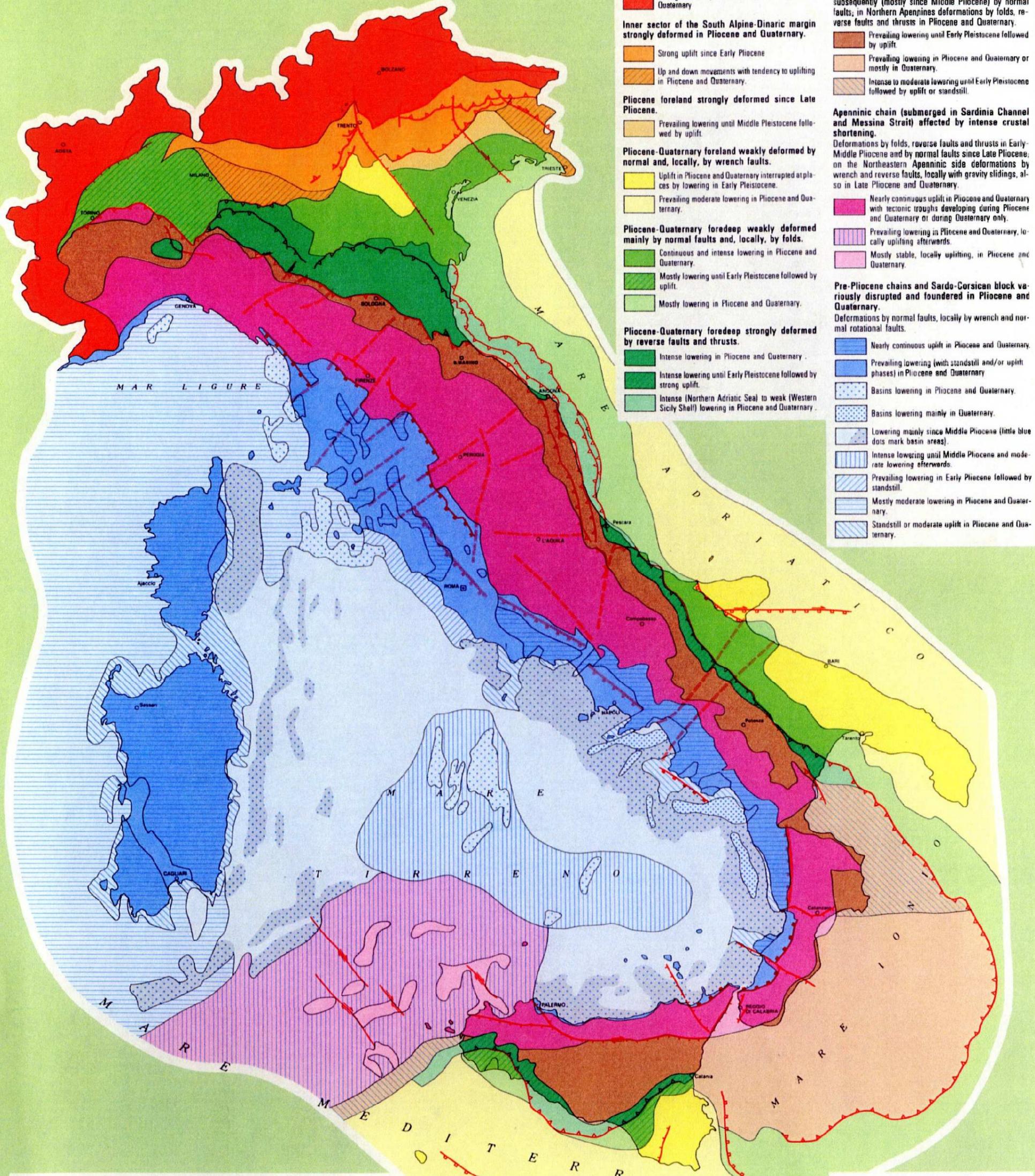
Lowering mainly since Middle Pliocene (little blue dots mark basin areas).

Intense lowering until Middle Pliocene and moderate lowering afterwards.

Prevailing lowering in Early Pliocene followed by standstill.

Mostly moderate lowering in Pliocene and Quaternary.

Standstill or moderate uplift in Pliocene and Quaternary.



CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

NEOTECTONIC MAP OF ITALY



Centro Ricerche Portici

Dipartimento Ambiente,
Cambiamenti globali e
Sviluppo sostenibile

SIGEAC
Sistema Informativo per
la Gestione delle Aree Costiere

TECTONIC SYMBOLS

- Outermost belt of the Pliocene-Pleistocene thrusts; main inner thrusts are indicated as well.
- Main deep structures disrupting foreland areas.
- Main tensional fault system connected with the peri-Tyrrhenian downfaulted zone (a); as above with discontinuous evidence at the surface (b).
- Main shear zones with strike- and/or dip-slip mechanism (a), as above with discontinuous evidence at the surface (b).

Carta dell'Uso del Suolo

Allegato 5 al Doc. FPN-LP4-009

Legenda

-  Aree urbane
-  Aree industriali, commerciali o legate ai trasporti
-  Miniere, discariche ed aree in costruzione
-  Aree non agricole occupate da vegetazione artificiale
-  Seminativi
-  Colture permanenti
-  Prati stabili
-  Aree agricole eterogenee
-  Foreste o boschi
-  Cespuglieti e/o vegetazione erbacea
-  Spazi aperti con vegetazione rada o nulla
-  Aree umide interne
-  Aree umide costiere
-  Corpi idrici interni
-  Corpi d'acqua marina

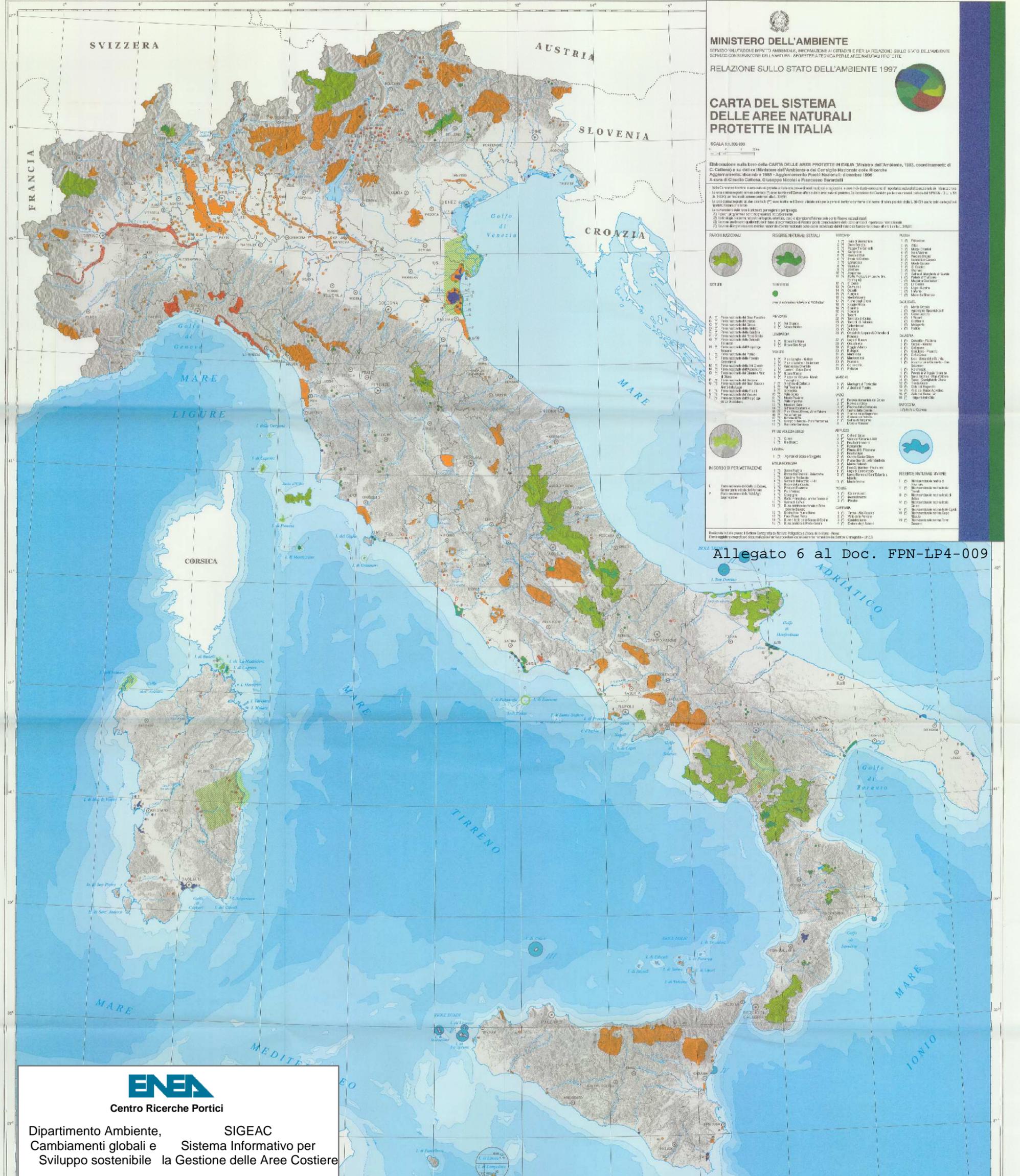
0 25 50 100 150 200 250 300 350 Km

Fonte: Corine Land Cover

ENEA
Centro Ricerche Portici

Dipartimento Ambiente,
Cambiamenti globali e
Sviluppo sostenibile

SIGEAC
Sistema Informativo per
la Gestione delle Aree Costiere



MINISTERO DELL'AMBIENTE
 SERVIZIO VALUTAZIONE AMBIENTALE, INFORMAZIONI AI CITTADINI E PER LA RELAZIONE SULLO STATO DELL'AMBIENTE
 SERVIZIO CONSERVAZIONE DELLA NATURA - SERVIZIO TECNICO PER LE AREE NATURALI PROTETTE

RELAZIONE SULLO STATO DELL'AMBIENTE 1997

CARTA DEL SISTEMA DELLE AREE NATURALI PROTETTE IN ITALIA

SCALA 1:1.000.000

Elaborazione sulla base della CARTA DELLE AREE PROTETTE IN ITALIA, Ministero dell'Ambiente, 1993, coordinamento di C. Cattaneo e su dati del Ministero dell'Ambiente e del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Aggiornamento dicembre 1998 - Aggiornamento Piani Nazionali dicembre 1999. A cura di Claudia Cattaneo, Giuseppe Nicolai e Francesco Serranelli.

Nota: La cartina illustra la situazione delle Aree Naturali Protette in Italia, secondo i dati pubblicati nel Rapporto sullo Stato dell'Ambiente 1997. La cartina è stata elaborata sulla base della Carta delle Aree Protette in Italia, Ministero dell'Ambiente, 1993, coordinamento di C. Cattaneo e su dati del Ministero dell'Ambiente e del Consiglio Nazionale delle Ricerche. L'aggiornamento dicembre 1998 e l'aggiornamento Piani Nazionali dicembre 1999 sono stati effettuati sulla base delle informazioni fornite dai Piani Nazionali delle Aree Naturali Protette. La cartina è stata elaborata sulla base della Carta delle Aree Protette in Italia, Ministero dell'Ambiente, 1993, coordinamento di C. Cattaneo e su dati del Ministero dell'Ambiente e del Consiglio Nazionale delle Ricerche. L'aggiornamento dicembre 1998 e l'aggiornamento Piani Nazionali dicembre 1999 sono stati effettuati sulla base delle informazioni fornite dai Piani Nazionali delle Aree Naturali Protette.

REGIONE	PROVINCIA	NUMERO	DESCRIZIONE
VALLE D'AOSTA	AOSTA	1	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		2	Parco Naturale del Gran Paradiso
		3	Parco Naturale del Gran Paradiso
		4	Parco Naturale del Gran Paradiso
		5	Parco Naturale del Gran Paradiso
		6	Parco Naturale del Gran Paradiso
		7	Parco Naturale del Gran Paradiso
		8	Parco Naturale del Gran Paradiso
		9	Parco Naturale del Gran Paradiso
		10	Parco Naturale del Gran Paradiso
PIEMONTE	TORINO	11	Parco Naturale del Gran Paradiso
		12	Parco Naturale del Gran Paradiso
		13	Parco Naturale del Gran Paradiso
		14	Parco Naturale del Gran Paradiso
		15	Parco Naturale del Gran Paradiso
		16	Parco Naturale del Gran Paradiso
		17	Parco Naturale del Gran Paradiso
		18	Parco Naturale del Gran Paradiso
		19	Parco Naturale del Gran Paradiso
		20	Parco Naturale del Gran Paradiso
LIGURIA	GENOVA	21	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		22	Parco Naturale del Gran Paradiso
		23	Parco Naturale del Gran Paradiso
		24	Parco Naturale del Gran Paradiso
		25	Parco Naturale del Gran Paradiso
		26	Parco Naturale del Gran Paradiso
		27	Parco Naturale del Gran Paradiso
		28	Parco Naturale del Gran Paradiso
		29	Parco Naturale del Gran Paradiso
		30	Parco Naturale del Gran Paradiso
EMILIA ROMAGNA	BOLOGNA	31	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		32	Parco Naturale del Gran Paradiso
		33	Parco Naturale del Gran Paradiso
		34	Parco Naturale del Gran Paradiso
		35	Parco Naturale del Gran Paradiso
		36	Parco Naturale del Gran Paradiso
		37	Parco Naturale del Gran Paradiso
		38	Parco Naturale del Gran Paradiso
		39	Parco Naturale del Gran Paradiso
		40	Parco Naturale del Gran Paradiso
TOSCANA	FIRENZE	41	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		42	Parco Naturale del Gran Paradiso
		43	Parco Naturale del Gran Paradiso
		44	Parco Naturale del Gran Paradiso
		45	Parco Naturale del Gran Paradiso
		46	Parco Naturale del Gran Paradiso
		47	Parco Naturale del Gran Paradiso
		48	Parco Naturale del Gran Paradiso
		49	Parco Naturale del Gran Paradiso
		50	Parco Naturale del Gran Paradiso
LAZIO	ROMA	51	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		52	Parco Naturale del Gran Paradiso
		53	Parco Naturale del Gran Paradiso
		54	Parco Naturale del Gran Paradiso
		55	Parco Naturale del Gran Paradiso
		56	Parco Naturale del Gran Paradiso
		57	Parco Naturale del Gran Paradiso
		58	Parco Naturale del Gran Paradiso
		59	Parco Naturale del Gran Paradiso
		60	Parco Naturale del Gran Paradiso
SICILIA	PALERMO	61	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		62	Parco Naturale del Gran Paradiso
		63	Parco Naturale del Gran Paradiso
		64	Parco Naturale del Gran Paradiso
		65	Parco Naturale del Gran Paradiso
		66	Parco Naturale del Gran Paradiso
		67	Parco Naturale del Gran Paradiso
		68	Parco Naturale del Gran Paradiso
		69	Parco Naturale del Gran Paradiso
		70	Parco Naturale del Gran Paradiso
SARDEGNA	CAGLIARI	71	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		72	Parco Naturale del Gran Paradiso
		73	Parco Naturale del Gran Paradiso
		74	Parco Naturale del Gran Paradiso
		75	Parco Naturale del Gran Paradiso
		76	Parco Naturale del Gran Paradiso
		77	Parco Naturale del Gran Paradiso
		78	Parco Naturale del Gran Paradiso
		79	Parco Naturale del Gran Paradiso
		80	Parco Naturale del Gran Paradiso

Allegato 6 al Doc. FPN-LP4-009



Dipartimento Ambiente, Cambiamenti globali e Sviluppo sostenibile

SIGEAC Sistema Informativo per la Gestione delle Aree Costiere

REGIONE	PROVINCIA	NUMERO	DESCRIZIONE
VALLE D'AOSTA	AOSTA	1	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		2	Parco Naturale del Gran Paradiso
		3	Parco Naturale del Gran Paradiso
		4	Parco Naturale del Gran Paradiso
		5	Parco Naturale del Gran Paradiso
		6	Parco Naturale del Gran Paradiso
		7	Parco Naturale del Gran Paradiso
		8	Parco Naturale del Gran Paradiso
		9	Parco Naturale del Gran Paradiso
		10	Parco Naturale del Gran Paradiso
PIEMONTE	TORINO	11	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		12	Parco Naturale del Gran Paradiso
		13	Parco Naturale del Gran Paradiso
		14	Parco Naturale del Gran Paradiso
		15	Parco Naturale del Gran Paradiso
		16	Parco Naturale del Gran Paradiso
		17	Parco Naturale del Gran Paradiso
		18	Parco Naturale del Gran Paradiso
		19	Parco Naturale del Gran Paradiso
		20	Parco Naturale del Gran Paradiso
LIGURIA	GENOVA	21	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		22	Parco Naturale del Gran Paradiso
		23	Parco Naturale del Gran Paradiso
		24	Parco Naturale del Gran Paradiso
		25	Parco Naturale del Gran Paradiso
		26	Parco Naturale del Gran Paradiso
		27	Parco Naturale del Gran Paradiso
		28	Parco Naturale del Gran Paradiso
		29	Parco Naturale del Gran Paradiso
		30	Parco Naturale del Gran Paradiso
EMILIA ROMAGNA	BOLOGNA	31	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		32	Parco Naturale del Gran Paradiso
		33	Parco Naturale del Gran Paradiso
		34	Parco Naturale del Gran Paradiso
		35	Parco Naturale del Gran Paradiso
		36	Parco Naturale del Gran Paradiso
		37	Parco Naturale del Gran Paradiso
		38	Parco Naturale del Gran Paradiso
		39	Parco Naturale del Gran Paradiso
		40	Parco Naturale del Gran Paradiso
TOSCANA	FIRENZE	41	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		42	Parco Naturale del Gran Paradiso
		43	Parco Naturale del Gran Paradiso
		44	Parco Naturale del Gran Paradiso
		45	Parco Naturale del Gran Paradiso
		46	Parco Naturale del Gran Paradiso
		47	Parco Naturale del Gran Paradiso
		48	Parco Naturale del Gran Paradiso
		49	Parco Naturale del Gran Paradiso
		50	Parco Naturale del Gran Paradiso
LAZIO	ROMA	51	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		52	Parco Naturale del Gran Paradiso
		53	Parco Naturale del Gran Paradiso
		54	Parco Naturale del Gran Paradiso
		55	Parco Naturale del Gran Paradiso
		56	Parco Naturale del Gran Paradiso
		57	Parco Naturale del Gran Paradiso
		58	Parco Naturale del Gran Paradiso
		59	Parco Naturale del Gran Paradiso
		60	Parco Naturale del Gran Paradiso
SICILIA	PALERMO	61	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		62	Parco Naturale del Gran Paradiso
		63	Parco Naturale del Gran Paradiso
		64	Parco Naturale del Gran Paradiso
		65	Parco Naturale del Gran Paradiso
		66	Parco Naturale del Gran Paradiso
		67	Parco Naturale del Gran Paradiso
		68	Parco Naturale del Gran Paradiso
		69	Parco Naturale del Gran Paradiso
		70	Parco Naturale del Gran Paradiso
SARDEGNA	CAGLIARI	71	Parco Nazionale del Gran Paradiso
		72	Parco Naturale del Gran Paradiso
		73	Parco Naturale del Gran Paradiso
		74	Parco Naturale del Gran Paradiso
		75	Parco Naturale del Gran Paradiso
		76	Parco Naturale del Gran Paradiso
		77	Parco Naturale del Gran Paradiso
		78	Parco Naturale del Gran Paradiso
		79	Parco Naturale del Gran Paradiso
		80	Parco Naturale del Gran Paradiso

Disegno - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato - Roma