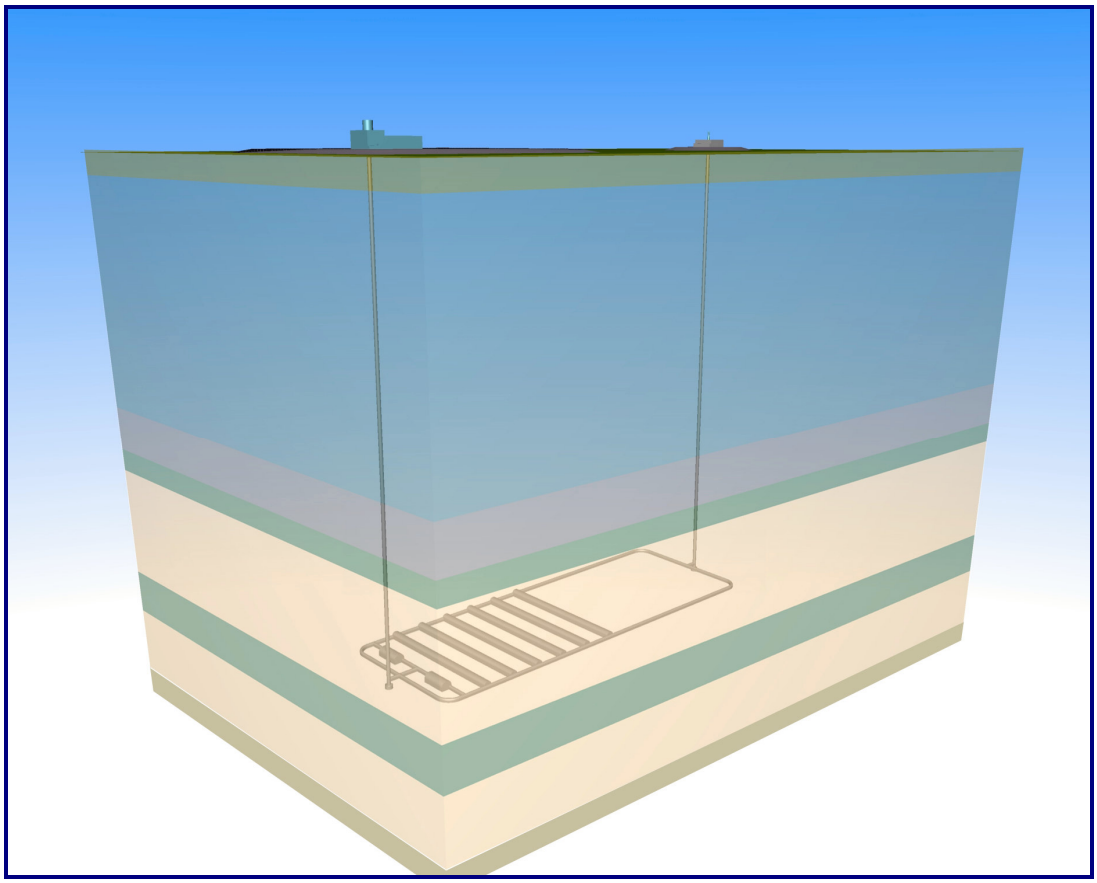
Sogin
Società Gestione Impianti Nucleari

DEPOSITO NAZIONALE CENTRALIZZATO PER I RIFIUTI RADIOATTIVI

STUDIO PER LA LOCALIZZAZIONE DI UN SITO DI DEPOSITO



DOCUMENTO PDN RT 002

REVISIONE 00

NOVEMBRE 2003

IMPIANTO: **DEPOSITO NAZIONALE PER I RIFIUTI RADIOATTIVI**

TITOLO ELABORATO: **STUDIO PER LA LOCALIZZAZIONE DI UN SITO PER IL DEPOSITO NAZIONALE CENTRALIZZATO DEI RIFIUTI RADIOATTIVI**

Rev	DESCRIZIONE DELLE REVISIONI
00	

REV	DATA	AUTORI						VERIFICA	APPROVAZIONE	AUTORIZZAZIONE ALL'USO
0	11/03	S. CAO	A. BRONDI	S. D'OFFIZI	G. GROSSI	A. PAPA	P. VENDITTI	S. D'OFFIZI	S. CAO	G. BOLOGNINI

INDICE

1 PREMESSA 5

2 INDIRIZZI ISTITUZIONALI 18

3 STUDI E RICERCHE PREGRESSE IN AMBITO NAZIONALE 20

3.1 PREMESSA 20
3.2 ATTIVITÀ DELL'ENEA SULLO SMALTIMENTO GEOLOGICO DEI RIFIUTI DI III CATEGORIA 21
3.3 STUDI E RICERCHE DELL'ENEA SUL DEPOSITO DEFINITIVO DEI RIFIUTI DI II CATEGORIA 22
3.4 LA TASK FORCE SITO DELL'ENEA 22
3.5 IL GRUPPO DI LAVORO DELLA CONFERENZA STATO-REGIONI 23
3.6 LE ATTIVITÀ SOGIN 25
3.7 LE ATTIVITÀ ANPA (OGGI APAT) 25
3.8 LE ATTIVITÀ DEL COMMISSARIO DELEGATO 26

4 CRITERI GENERALI DI SICUREZZA 28

4.1 RIFERIMENTI 28
4.2 FASI OPERATIVE CARATTERISTICHE DEL DEPOSITO DEFINITIVO 28
4.3 OBIETTIVO FONDAMENTALE DI SICUREZZA E RADIOPROTEZIONE PER LA GESTIONE DEI RIFIUTI RADIOATTIVI 28
4.4 PRINCIPI GENERALI DI SICUREZZA E RADIOPROTEZIONE RELATIVI AL DEPOSITO DEFINITIVO 28
4.5 CRITERI OPERATIVI DI SICUREZZA E RADIOPROTEZIONE 29
4.6 CONSIDERAZIONI SUI LIMITI DI DOSE EFFICACE 30
4.7 BIBLIOGRAFIA 31

5 RECUPERABILITÀ DEI RIFIUTI RADIOATTIVI 33

5.1 GENERALITÀ 33
5.2 APPLICAZIONE DEL CRITERIO DI RECUPERABILITÀ. 34
5.3 MODULO DI DEPOSITO 34
5.4 IL MODULO DI DEPOSITO DI RIFERIMENTO 35
5.5 BIBLIOGRAFIA 35

6 INVENTARIO DEI RIFIUTI RADIOATTIVI DI II CATEGORIA 36

6.1 PREMESSA 36
6.2 METODOLOGIA DI STIMA DELL'INVENTARIO DEI RIFIUTI DI II CATEGORIA 36
6.3 INVENTARIO DEI RIFIUTI DI II CATEGORIA 38
6.4 TABELLE E FIGURE 40

7 INVENTARIO DEI RIFIUTI RADIOATTIVI DI III CATEGORIA 46

7.1 PREMESSA 46
7.2 COMBUSTIBILE IRRAGGIATO 46
7.3 RIFIUTI AD ALTA ATTIVITÀ VETRIFICATI 47
7.4 ALTRI RIFIUTI DI III CATEGORIA 48
7.5 SORGENTI DISMESSE 48
7.6 CONCLUSIONI 48
7.7 TABELLE E FIGURE 49

8 METODOLOGIA DI SELEZIONE DI UN SITO PROFONDO IN FORMAZIONE SALINA 52

8.1 PREMESSA 52
8.2 PRINCIPALI REQUISITI PER UN SITO DI SMALTIMENTO DI RIFIUTI RADIOATTIVI IN FORMAZIONI GEOLOGICHE PROFONDE 53
8.3 PROCEDURA DI SELEZIONE DEL SITO 54
8.3.1 Fase 1: Inventario delle formazioni saline 55
8.3.2 Fase 2: Selezione del sito per successivi livelli di esclusione 55
8.3.3 Fase 3: Caratterizzazione del sito e progetto concettuale del deposito 55

9 APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA DI SELEZIONE DEL SITO 57

9.1 FASE 1 - INVENTARIO DELLE FORMAZIONI SALINE 57
9.1.1 Catalogo delle formazioni geologiche saline 57

9.1.2 Elenco dei bacini salini ... 58
9.2 FASE 2 - PRIMO LIVELLO D'ESCLUSIONE: CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEI GIACIMENTI ... 58
9.3 FASE 2 - SECONDO LIVELLO D'ESCLUSIONE: REQUISITI DI ISOLAMENTO DEL GIACIMENTO ... 59
9.4 FASE 2 - TERZO LIVELLO D'ESCLUSIONE: SISMICITÀ ... 59
9.4.1 Cinematica e sismicità dell'area circum-mediterranea ... 59
9.4.2 Cinematica e sismicità dell'area italiana ... 60
9.5 FASE 2 - QUARTO LIVELLO DI ESCLUSIONE: STABILITÀ GEOLOGICA ... 62
9.6 INDIVIDUAZIONE FINALE DEL SITO ... 62
9.7 BIBLIOGRAFIA ... 63
9.8 TABELLE E FIGURE ... 63

10 CARATTERISTICHE SISMICHE E GEO-IDROLOGICHE DEL SITO DI SCANZANO JONICO ... 76

10.1 SISMICITÀ ... 76
10.2 PRINCIPALI CARATTERISTICHE GEOLOGICHE ... 76
10.3 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE ... 77
10.4 RISCHIO IDRAULICO ... 78
10.5 TABELLE E FIGURE ... 79

11 CARATTERISTICHE AMBIENTALI E TERRITORIALI DELL'AREA DI SCANZANO JONICO ... 85

11.1 VINCOLI AMBIENTALI E TERRITORIALI ... 85
11.2 PARCHI E RISERVE NATURALI ... 85
11.3 RETE NATURA 2000 ... 85
11.4 ZONE ARCHEOLOGICHE ... 86
11.5 USO DEL SUOLO ... 86
11.6 POPOLAZIONE ... 87
11.7 BIBLIOGRAFIA ... 87
11.8 TABELLE E FIGURE ... 87

12 PIANO PRELIMINARE DI VALIDAZIONE DELLA SCELTA DEL SITO ... 91

13 CONCLUSIONI ... 93

APPENDICI ... 94

A1. PRINCIPI DI SICUREZZA E CRITERI TECNICI PER LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI AD ALTA ATTIVITÀ IN FORMAZIONI GEOLOGICHE PROFONDE ... 95

A1.1 PRINCIPI DI SICUREZZA (IAEA SAFETY SERIES N.99, 1989) ... 95
A1.2 CRITERI DI TIPO TECNICO ... 95

A2. PROPRIETÀ DI ISOLAMENTO DELLE FORMAZIONI ARGILLOSE ... 97

A2.1 GLI ANALOGHI NATURALI ... 97
A2.2 CAPACITÀ DI BARRIERA DELLE ARGILLE ... 98
A2.2.1 Capacità di barriera idraulica ... *98*
A2.2.1.1 Osservazioni in superficie ... 98
A2.2.1.2 Osservazioni in sotterraneo ... 99
A2.2.1.3 Intrusione magmatica in argilla ... 99
A2.2.1.4 Campi geotermici ... 99
A2.2.1.5 Venuta a giorno di elio ... 100
A2.2.2 Capacità di barriera geochimica ... *100*
A2.2.2.1 Capacità di cattura e ritenzione ... 100
A2.2.2.2 Potenziale di ossido-riduzione ... 100
A2.2.3 Combinazione delle due barriere idraulica e geochimica ... *100*
A2.2.3.1 La foresta fossile di Dunarobba ... 100

A3. IL MODULO DI DEPOSITO ... 102

A3.1 IL MODULO DI DEPOSITO TIPO ... 102
A3.2 CARATTERISTICHE DEL MODULO TIPO ... 102
A3.3 TEST DI QUALIFICA ... 103
A3.4 BIBLIOGRAFIA ... 103
A3.5 TABELLE E FIGURE ... 104

A4. SITI IN DEPOSITI SALINI ESCLUSI PER CARATTERISTICHE GEO-MORFOLOGICHE E GIACITURALI.....110

A4.1 ASSORO-AGIRA (ENNA).....110
A4.2 RESUTTANO (ENNA).....110
A4.3 SALINELLA (ENNA).....111
A4.4 TABELLE E FIGURE.....112

1 PREMESSA

I materiali e i rifiuti radioattivi esistenti in Italia si trovano da decenni in una situazione di provvisorietà, e talora di precarietà, che rende sempre più complesso e oneroso il mantenimento di adeguate condizioni di sicurezza.
La perdurante mancanza di un deposito nazionale centralizzato definitivo per i rifiuti radioattivi determina una situazione di grave pericolo latente associata a fattori quali:

- la moltiplicazione di depositi temporanei distribuiti sul territorio;
- la precarietà di tali depositi, in gran parte non progettati per il medio-lungo termine e ubicati in siti non idonei a tale scopo;
- il progressivo invecchiamento delle strutture, che hanno già raggiunto o stanno ormai raggiungendo la fine della vita utile;
- la necessità di procedere allo smantellamento delle installazioni nucleari dismesse ormai da oltre 15 anni, al fine del recupero ambientale dei siti; smantellamento che gli amministratori locali subordinano all'allontanamento dei rifiuti prodotti nel corso del funzionamento di tali installazioni (rifiuti di esercizio);
- la recente evoluzione della situazione internazionale, con la moltiplicazione dei fenomeni terroristici;
- la recrudescenza di fenomeni ambientali eccezionali.

Come confermato da autorevoli interventi, primo fra tutti quello del premio Nobel prof. Carlo Rubbia, la situazione che si è determinata è potenzialmente tale da esporre vaste aree del Paese alla dispersione di materiali radioattivi in seguito a incidenti, catastrofi naturali, possibili intrusioni o attentati.

Tale situazione di rischio fu già denunciata dall'ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, oggi APAT) nel corso di due convegni nazionali svoltisi nel 1995 e nel 1997, durante i quali fu richiamata la necessità di affrontare e risolvere in via definitiva un problema che era stato apparentemente accantonato.

Alla fine del 1997, presso l'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica (AIEA) dell'ONU, veniva varata la Convenzione internazionale congiunta sulla sicurezza della gestione del combustibile irraggiato e sulla sicurezza della gestione dei rifiuti radioattivi (denominata per brevità "Joint Convention"), che impegna i paesi firmatari (tra cui l'Italia) a garantire una efficace messa in sicurezza del combustibile e dei rifiuti, assicurandone una completa e corretta gestione.

Nel corso della Conferenza nazionale per l'energia del novembre 1998 l'urgenza di affrontare e risolvere il problema fu ulteriormente ribadita dal Ministro per l'Ambiente e dal Ministro dell'Industria. In seguito ad approfondita riflessione e al confronto con gli esercenti delle installazioni nucleari dismesse, il Ministro dell'Industria emanò, in data 14 dicembre 1999, uno specifico documento recante "Indirizzi strategici per la gestione degli esiti del nucleare", documento che fu inviato al Parlamento in data 21 dicembre 1999.

La strategia nazionale sulla gestione dei materiali radioattivi e degli impianti nucleari dismessi dettata dal suddetto documento, si fondava su tre obiettivi generali da conseguirsi in modo coordinato:

- trattamento e condizionamento di tutti i rifiuti radioattivi liquidi e solidi al fine di trasformarli in manufatti certificati, temporaneamente stoccati sul sito di produzione ma pronti per essere trasferiti al deposito nazionale;
- scelta del sito e predisposizione del deposito nazionale sia per lo smaltimento definitivo dei rifiuti condizionati di II categoria (a media e bassa attività e vita breve), che per lo

stoccaggio temporaneo a medio temine, in una struttura ingegneristica, dei rifiuti di III categoria (ad alta attività e a vita lunga);
– disattivazione accelerata degli impianti nucleari nella loro globalità.

Gli stessi indirizzi strategici sono stati confermati nel DM Industria del 7 maggio 2001 (Decreto Letta) recante "Indirizzi operativi alla SOGIN", la società pubblica istituita ai sensi del D.Lgs. n. 79/1999 (Decreto Bersani) con il mandato specifico di provvedere alla messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi e allo smantellamento degli impianti nucleari dismessi.

Malgrado le chiare indicazioni strategiche, la volontà di dare una soluzione stabile al problema della sicurezza dei materiali radioattivi non ha trovato applicazione concreta.

Prendendo atto di questa situazione, aggravata dal rischio di attentati terroristici che nel frattempo si era determinato, il 14 febbraio 2003 il Governo ha decretato lo stato di emergenza nei territori che ospitano le installazioni nucleari italiane.

Con la successiva ordinanza della Presidenza del Consiglio n. 3267 del 7 marzo 2003, il presidente di SOGIN, Gen. Carlo Jean, è stato nominato Commissario Delegato per la sicurezza dei materiali e delle installazioni nucleari, con un mandato operativo che riguardava, tra l'altro, lo studio delle soluzioni idonee a consentire la gestione centralizzata delle modalità di deposito dei rifiuti radioattivi, d'intesa con la Conferenza dei Presidenti delle Regioni.

In merito a questo aspetto, il Commissario ha istituito in data 11 aprile 2003 uno specifico gruppo di lavoro (GDL) composto di esperti di SOGIN ed ENEA con il supporto di diverse Università italiane che, sulla base delle linee guida formulate dall'ONU-IAEA e universalmente riconosciute a livello internazionale, ha provveduto a definire i criteri tecnico-scientifici applicabili alla localizzazione di un sito idoneo alla realizzazione di un centro nazionale

– per il deposito <u>definitivo</u> dei rifiuti radioattivi a bassa e media attività e vita breve (II categoria GT n. 26[1]);
– per lo stoccaggio <u>temporaneo</u> dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita (III categoria GT n. 26).

In data 16 giugno 2003 lo studio prodotto dal GDL è stato sottoposto alla Conferenza dei Presidenti delle Regioni per l'intesa prevista dall'OPCM n. 3267. In data 26 luglio la Conferenza dei Presidenti delle Regioni comunicava di avere sospeso l'esame dello studio.

La necessità e urgenza di dare soluzione al problema mediante la realizzazione di un deposito unico nazionale era stata nel frattempo ulteriormente ribadita nel marzo 2003 dalla Commissione VIII della Camera dei Deputati (Commissione Ambiente, Territorio e Lavori Pubblici) nel Documento Conclusivo dell'Indagine Conoscitiva sulla sicurezza ambientale dei siti ad elevata concentrazione inquinante di rifiuti pericolosi e radioattivi)[2].

---

[1] La Guida Tecnica n. 26 emanata dall'ENEA-DISP (poi ANPA e oggi APAT) è la normativa tecnica di riferimento per la classificazione e le modalità di trattamento e gestione dei rifiuti radioattivi.

[2] "A conclusione dell'indagine conoscitiva, la VIII Commissione ha convenuto sull'esigenza che l'attenzione di tutte le istituzioni competenti, nonché dei vari soggetti coinvolti, si concentri sulle seguenti priorità:
I. è necessario prendere atto che la situazione sul territorio nazionale, in materia di gestione dei rifiuti radioattivi, costituisce una priorità per la sicurezza ambientale del nostro Paese. Il succedersi di episodi di rischio e la possibilità di eventi esterni, di qualsiasi natura, con frequenza superiore a tutte le precedenti previsioni (e sulle cui cause la Commissione ha inteso svolgere specifici approfondimenti), devono indurre a riconsiderare in termini nuovi il rischio nucleare e la sua collocazione al vertice della scala delle priorità;
II. riveste pertanto carattere di assoluta urgenza la realizzazione di un deposito unico nazionale, all'interno del quale allocare i rifiuti radioattivi. Al riguardo, si evidenzia che l'articolo 27 del disegno di legge di delega per la riforma e il riordino del sistema energetico (AC 3279), attualmente all'esame della Camera dei deputati, prevede l'istituzione di tale deposito per allocare e gestire in via definitiva i rifiuti di II categoria e, in via temporanea, quelli di III categoria e il combustibile irraggiato. Tale previsione normativa appare migliorabile, soprattutto dal punto di vista dei tempi previsti per la realizzazione del deposito, per cui andrebbe definito un tempo certo per l'individuazione del

Inoltre, al momento attuale, grazie all'impegno particolare della Presidenza Italiana, è in via di emissione una nuova Direttiva dell'Unione Europea, presentata in tempi recentissimi dal Commissario Loyola de Palacio, in base alla quale è stabilito per tutti i Paesi Membri l'obbligo della definitiva messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi, in particolare predisponendo, in ciascuno di essi, il deposito definitivo per i rifiuti a bassa e media attività, e, in tempi meno ravvicinati, quello per i rifiuti ad alta attività e per il combustibile irraggiato.

In tale contesto, preso atto dell'indisponibilità della prescritta intesa con la Conferenza dei Presidenti delle Regioni, nonché dell'accresciuta instabilità internazionale, con il conseguente aumento dei rischi derivanti dal terrorismo, il Governo ha ritenuto di dover assumere responsabilmente l'iniziativa volta a identificare in tempi brevi un sito che, con il massimo livello possibile di sicurezza e rispetto dell'ambiente, fosse idoneo ad ospitare un deposito che, pur destinato in prima istanza al deposito definitivo dei rifiuti radioattivi di II categoria, presentasse anche caratteristiche favorevoli ai fini del deposito definitivo dei rifiuti di III categoria (deposito unico nazionale).

Il compito di procedere a tale identificazione è stato affidato al Presidente della SOGIN. L'affidamento trae origine dal citato Decreto 7 maggio 2001[3], i cui principi, con riferimento alla sistemazione definitiva e centralizzata dei rifiuti radioattivi, sono peraltro ribaditi nel Disegno di legge "Riordino del settore energetico…" (DDL Marzano), già approvato dalla Camera, e attualmente all'esame del Senato (A.S. n. 2421), recante tra l'altro deleghe al Governo in materia di gestione dei rifiuti radioattivi[4].

Sulla base della richiesta del Governo, SOGIN, anche utilizzando lo studio effettuato nei mesi precedenti dal Gruppo di Lavoro istituito nell'aprile 2003, ha portato a termine nei tempi brevi richiesti il presente studio volto all'identificazione di un sito rispondente alle indicazioni governative.

Lo studio è stato condotto con la collaborazione di eminenti specialisti del sistema universitario nazionale, che ne hanno condiviso il metodo e le conclusioni.

---

sito;
III. in merito alla scelta del sito che dovrà ospitare il deposito unico nazionale, scelta che deve essere rimessa ai competenti organi istituzionali, appare tuttavia essenziale che si proceda all'individuazione di modalità operative che contemperino le diverse esigenze, prevedendo - comunque - che una decisione definitiva sia assunta nel più breve tempo possibile, anche sulla base dei necessari elementi tecnici messi a disposizione dai competenti organismi;
IV. appare, in questo quadro, evidente che le strutture nucleari esistenti e i depositi di rifiuti radioattivi attualmente presenti sul territorio non potranno divenire «cimiteri di sé stessi», essendo naturale che il futuro deposito unico, alla luce di quanto emerso dalle audizioni e dalle indagini svolte dalla Commissione, non sia allocato in nessuna delle aree dove attualmente insistono installazioni contenenti scorie nucleari;
V. è necessario adottare idonee misure di sicurezza, anche in relazione ai rischi provenienti da fattori esterni; appare dunque fondamentale che, in data 17 febbraio 2003, il Consiglio dei ministri abbia adottato lo «stato di emergenza» in diverse zone del Paese ospitanti siti nucleari e che abbia deciso di disciplinare, con specifica ordinanza di protezione civile, l'attività di messa in sicurezza dei materiali radioattivi (…)".

[3] Il Decreto prevede in particolare quanto segue (Art. 2):
"Nell'ambito delle azioni di specifico interesse comune, la SOGIN Spa collabora con il Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato, attraverso opportune soluzioni organizzative da definire mediante idonea convenzione, all'esecuzione delle attività di competenza del Ministero stesso in materia di:
- individuazione e caratterizzazione del sito per il deposito dei rifiuti radioattivi, il relativo assetto del territorio e lo sviluppo economico e sociale della comunità locale, oltre alla tutela dell'ambiente;
- (…)
- predisposizione del deposito nazionale sia per lo smaltimento definitivo dei rifiuti condizionati di II categoria, che per lo stoccaggio temporaneo a medio termine, in una struttura ingegneristica, dei rifiuti di III categoria e del combustibile irraggiato non riprocessato;
- (…)"

[4] Il Disegno di legge prevede in particolare quanto segue (Art. 30, comma 3):
"b) attribuire alla Società gestione impianti nucleari (SOGIN S.p.A.) la responsabilità di condurre le indagini e gli studi per individuare i siti atti alla realizzazione, da parte della medesima, del deposito nazionale dei rifiuti radioattivi dove allocare e gestire in via definitiva i rifiuti di II categoria e, in via temporanea, quelli di III categoria e il combustibile irraggiato".

La scelta di un sito che comporti la massima sicurezza per lo smaltimento dei rifiuti di II categoria e che, in prospettiva, possa risultare idoneo anche alla III categoria deve necessariamente essere orientata verso un deposito profondo (o geologico). Le garanzie di sicurezza offerte da un deposito profondo - che affida il contenimento dei materiali radioattivi alle capacità di barriera delle formazioni geologiche, e soprattutto alla permanenza nel tempo (dell'ordine dei milioni di anni) di tali capacità - sono infatti universalmente riconosciute come le uniche adatte a tale scopo.

È per tale ragione che, per ospitare rifiuti di III categoria, in tutti i paesi che hanno affrontato questo problema sono oggetto di studio depositi profondi in formazioni di argilla, salgemma o granito.

Nel processo di analisi è maturata la convinzione che la scelta del deposito profondo (deposito geologico) in salgemma fosse quella da perseguire, in quanto:

- nella situazione italiana i giacimenti salini sono inglobati in formazioni argillose, potendo così trarre vantaggio, nei casi più favorevoli, dalla capacità di barriera di entrambe le formazioni;
- le formazioni granitiche e argillose possono presentare caratteristiche di disomogeneità, tipicamente fratturazioni (graniti) o inclusioni sabbiose (argille). Prima di poter essere veramente candidate a ospitare un deposito, necessitano di indagini assai approfondite allo scopo di escludere l'esistenza di tali indesiderati inconvenienti. Gli effetti negativi di tali caratteristiche non sono riscontrabili nelle formazioni saline;
- gli unici esempi operativi su scala mondiale di depositi in formazioni geologiche profonde sono tutti in formazioni saline; infatti appartengono a tale tipologia :

  - Il deposito salino di Asse (Germania), operativo per lo smaltimento di rifiuti radioattivi di bassa e media attività fino al 1978 (smaltiti circa 30.000 metri cubi di rifiuti in totale), e successivamente utilizzato per indagini e studi approfonditi, coordinati dalla Commissione Europea, finalizzati allo smaltimento dei rifiuti ad alta attività e a lunghissima vita media;
  - Il deposito salino "ERAM" di Morsleben (Germania), operativo dal 1971 al 1998, in cui sono stati smaltiti circa 40.000 metri cubi di rifiuti e circa 7.000 sorgenti radioattive in disuso;
  - Il deposito salino "WIPP" (Waste Isolation Pilot Plant)[5] di Carlsbad (Nuovo Messico, USA), operativo dal 1999; è attualmente l'unico deposito definitivo in funzione per i rifiuti a lunga vita (transuranici, in particolare plutonio), della capacità totale di 170.000 metri cubi, in cui sono stati finora smaltiti più di 20.000 metri cubi di rifiuti. Si tratta dei rifiuti radioattivi ad alta attività e a lunga vita risultanti dal programma militare USA.

- La scelta di una formazione di salgemma come deposito definitivo per i rifiuti radioattivi è ottimale anche in quanto il salgemma:

  - è un "indicatore naturale" perdurante da milioni di anni dell'effettivo isolamento dalle acque superficiali e sotterranee esercitato dalle formazioni argillose incassanti nei confronti del giacimento salino;
  - ha una permeabilità talmente bassa da presentare problemi di misurabilità (e comunque di qualche ordine di grandezza addirittura inferiore a quella dell'argilla); in tal modo ha la capacità di impedire la migrazione dei radionuclidi;

[5] Si tratta di un deposito profondo realizzato in una formazione salina protetta da una formazione argillosa (marne) a circa 660 metri di profondità.

- ha una propensione alla deformazione plastica (creeping) che, per le bassissime velocità di deformazione proprie delle strutture geologiche, porterebbe all'autosigillatura di qualunque frattura si dovesse eventualmente formare;
- ha un buon coefficiente di scambio termico, che permette lo smaltimento del calore residuo di decadimento dei rifiuti.

La formazione di salgemma deve essere inoltre localizzata in un'area a caratteristiche geodinamiche favorevoli, tali da garantire l'isolamento del deposito nel lunghissimo periodo, e avere spessore ed estensione adeguati ad ospitare le gallerie di deposito dei rifiuti radioattivi.

Le risultanze dello studio SOGIN hanno portato alla selezione del sito di Scanzano Jonico, in provincia di Matera, come l'unico rispondente a livello preliminare a tutti i requisiti di sicurezza raccomandati in ambito internazionale con riferimento alla tipologia di deposito prescelta.

La metodologia seguita e la scelta conseguente sono state validate da eminenti esperti nazionali del settore geologico e nucleare.

La scelta di deposito unico di tipo geologico per i rifiuti di II categoria e, in tempi successivi, in base ad esiti positivi delle necessarie analisi di sicurezza a lungo termine, anche per quelli di III categoria, comporta indubbiamente costi iniziali e tempi maggiori se riferiti al solo smaltimento della II categoria (che potrebbe essere realizzato anche attraverso una struttura ingegneristica superficiale o sub-superficiale), mentre risulterà vantaggiosa se riferito alla soluzione complessiva del problema di sistemazione definitiva di tutti i rifiuti radioattivi nazionali.

È opportuno ribadire una delle più importanti e significative conclusioni del rapporto conclusivo del "Gruppo di lavoro sulle condizioni per la gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi", approvato e fatto proprio dalla Conferenza Stato-Regioni il 31 gennaio 2002, in base alla quale la realizzazione del deposito va presentata come facente parte di un Progetto di Sviluppo Integrato del Centro e del Territorio, lungi, quindi, dal configurare un puro e semplice "cimitero di scorie nucleari".
Ciò comporta, tra l'altro, la realizzazione di un centro di alta specializzazione, di cui il deposito è solo una parte, ma che comprenderà, tra l'altro:

- un Centro di Informazione e Documentazione
- un Centro Congressi
- laboratori specializzati nella caratterizzazione dei rifiuti radioattivi;
- laboratori di tecnologia dei materiali;
- attività di ricerca nel campo della gestione e sistemazione dei rifiuti radioattivi di III categoria;
- attività nel campo dei controlli e della caratterizzazione ambientali;
- attività di studio, ricerca, sperimentazione e modellistica, per il mantenimento di una cultura italiana nel campo della protezione dalle radiazioni;
- attività di ricerca e sviluppo tecnologico nel campo del condizionamento dei rifiuti radioattivi, della qualificazione di materiali e manufatti, degli interventi robotizzati in ambienti ostili, ecc.

Si tratta dunque di realizzare un grande progetto al servizio al Paese, che a fianco di un deposito nazionale in sicurezza dei rifiuti radioattivi, realizzi un importante polo tecnologico di ricerca e sviluppo, apportatore di crescita culturale e di ampie e significative opportunità occupazionali nell'area prescelta.

Nei capitoli successivi sono esaminati l'inventario dei rifiuti destinati al deposito, i criteri di sicurezza per la scelta del sito, la metodologia adottata per la selezione e i risultati della selezione

medesima, con particolare riferimento alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geodinamiche dell'area.

Le caratteristiche tecniche del deposito e delle relative infrastrutture di servizio saranno ulteriormente precisate nell'ambito delle successive attività di studio e progettazione.
Tale attività verrà condotta in collaborazione con esperti che hanno già curato la progettazione e la realizzazione di depositi definitivi geologici in formazione salina (USA, Germania). Le scelte progettuali saranno inoltre certificate da organismi scientifici indipendenti nazionali e internazionali.

Nelle pagine seguenti sono riportati i pareri di eminenti esperti nazionali che hanno convalidato la procedura e i risultati oggetto del presente studio.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA
DIP.TE.RIS.- DIPARTIMENTO PER LO STUDIO DEL TERRITORIO E DELLE SUE RISORSE

Corso Europa, 26
16132 GENOVA
Tel. / Fax (010) 353 8081
Cod.Fisc. 00754150100

Prof. Claudio EVA
Ordinario di Fisica Terrestre
Viale Benedetto XV, 5
16132 Genova
Tel. (010) 353 8081
eva@dipteris.unige.it

Genova 20 Novembre 2003

Preg.mo
On. Gianni Letta
Sottosegretario Presidenza
Consiglio dei Ministri
Roma

Oggetto: situazione sismica del sito di Scansano Ionico

Con riferimento alle polemiche sorte a seguito della scelta del sito di Scansano Ionico (Matera) come sito di stoccaggio di scorie a bassa radioattività mi permetto segnalare l'esistenza sicuramente di una cattiva informazione data dai mass media.

Le particolari caratteristiche geologiche del sito certamente sono da considerarsi ottimali ed ugualmente la pericolosità sismica associata al sito appare estremamente modesta, tenuto conto anche della vita dell'impianto. In tal senso deve essere sottolineato che per materiali a bassa radioattività si intendono quei materiali che esauriscono la loro vita in 50-100 anni e pertanto la relativa area di smaltimento perde la sua pericolosità al massimo dopo 300 anni.

Non voglio soffermarmi sugli aspetti geologici, ma mi permetto segnalare che dal punto di vista sismico il Comune di Scansano è stato inserito, con l'ordinanza PCM del 20 Marzo 2003, n.3274, nella zona III. Il Comune è stato considerato sismico sulla base della proposta formulata del Gruppo misto di lavoro Servizio Sismico Nazionale/ Gruppo Naz. per la Difesa dai Terremoti (GNDT) nel 2001 ed utilizzata per la preparazione dell'ordinanza, che assegnava al Comune stesso i seguenti livelli di pericolosità espressi in termini di PGA (accelerazione massima attesa del suolo) per diversi periodi di ritorno (T in anni):

PGA = 0.09g per T=475 anni ; PGA = 0.14g per T= 975 anni; PGA=0.15g per T= 2475 anni.

Tali valori tengono conto anche dell'intervallo di confidenza, avendo considerato, in termini cautelativi, il massimo ammesso.

Ciò significa che esiste rispettivamente una probabilità del 10%, 5%. 2% in 50 anni che il sito venga colpito da un'azione sismica uguale o superiore ai valori assegnati. Cioè il sito ha la probabilità di risentire terremoti con un'intensità compresa tra il VI e VII grado della scala Mercalli durante la vita dell'impianto.

Valori di questo livello, accompagnati dalla lontananza (60-100 km) dei centri sismici appenninici che hanno prodotto terremoti debolmente risentiti al sito (Intensità massima valutabile del VI VII° MCS), non possono ingenerare fenomeni di deformazione del suolo tali da mettere in crisi l'impianto e non possono creare dissesti in una struttura sotterranea per la presenza di fagliazione superficiale..

A mio avviso quindi il sito, sulla base delle attuali conoscenze, è uno dei siti più idonei dal punto di vista della sicurezza. Va sottolineato però che per la definitiva assunzione di idoneità del sito sono necessarie ulteriori indagini tecnico- scientifiche.

Sperando che queste mie brevi notazioni possano essere utili, porgo distinti saluti

Prof. Claudio Eva
Presidente della Commissione Sismologica Europea

UNIVERSITA' DI TRIESTE - FACOLTA' DI SCIENZE
DIPARTIMENTO DI SCIENZE GEOLOGICHE AMBIENTALI E MARINE
GRUPPO GEOFISICA DI ESPLORAZIONE
via Weiss 1, 34127 Trieste

Prof. : Icilio R. Finetti
Tel.: ++39-040-5582276 Fax: ++39-040-5582290
email: finetti@units.it

Trieste, 21 novembre 2003

Spett. le
SOGIN SPA
Via Torino, 6
00184 - ROMA

Rif.: Sito di Scanzano

Oggetto: Inquadramento Stratigrafico e Tettono-dinamico dell'Area, basato su dati di Esplorazione Geofisica

Ben cosciente dell' importanza e delicatezza che riveste la scelta di un sito di stoccaggio scorie nucleari, avendo maturato una lunga esperienza world-wide di Esplorazione Geofisica professionale ed anni di indagini sismiche a riflessione sulla Avanfossa Bradanica, ritengo di poter delineare per il Sito di Scanzano quanto segue:

1. Il sito indicato è posto entro l'Avanfossa Bradanica, al fronte delle masse argillose Plio-Quaternarie sovrascorse.
2. Sotto le masse argillose giace un corpo di sale Messiniano spesso circa 200 m.
3. La massa salina poggia su un substrato calcareo, non interessato, in loco, da evidenti faglie attive.
4. Tale corpo salino può essere considerato un ottimale involucro naturale protettivo che, per comprovato comportamento plastico, mantiene una eccellente impermeabilità anche quando viene sottoposto a deformazione tettonica di una certa entità. Infatti, i più importanti campi petroliferi scoperti in zone fagliate hanno avuto come condizione determinante la copertura di uno strato di sale che ha preservato la loro massa fluida evitando la fuoriuscita degli idrocarburi attraverso le faglie.
5. La sismicità della zona non ha segnalato forti scuotimenti, ne sismogenesi significativa nell'area del sito.
6. La geodinamica dell'Appennino Meridionale, dopo una fase di prevalente propagazione deformativa verso Est ed Est-Sud-Est perdurata fino a circa 0.4 ÷ 0.5 Ma fa, è ora dominata da evidente propagazione verso lo Ionio (Sud-Est). Questo fatto riduce sensibilmente il potenziale rischio di deformazione compromettente della massa salina in questione.

Tutto sommato, l'idea di mettere le scorie entro una massa salina sepolta mi pare buona. Occorre, ovviamente, accertare in dettaglio e verificare scrupolosamente con le più appropriate metodiche avanzate, sia la esatta configurazione della massa salina, sia il suo preciso contesto stratigrafico e tettonodinamico.

Prof. Icilio Renato Finetti
(Ordinario di Geofisica Applicata)

Considerazioni sulla scelta di Scanzano Ionico come sito nazionale centralizzato per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi

(Umberto Colombo)

L'inventario dei rifiuti radioattivi italiani, valutato attualmente in ragione di circa 60.000 metri cubi di rifiuti e di circa 300 tonnellate di combustibile irraggiato, è di entità assai limitata rispetto a quello dei Paesi nuclearmente più avanzati, e per di più, all'interno di esso, i rifiuti radioattivi ad alta attività e a lunga vita costituiscono una percentuale assai ridotta, e destinata a rimanere tale in mancanza di programmi nucleari a scopi energetici.

Escludendo la possibilità di cessione definitiva a Paesi Terzi dei rifiuti ad alta attività e del combustibile irraggiato, per motivi di carattere socio-politico oltre che etico, resta la necessità di provvedere, sia pure in tempi non immediati, al loro smaltimento definitivo sul territorio nazionale.

Appare pertanto giustificata la ricerca di un sito centralizzato nazionale che, pur destinato in prima istanza allo smaltimento dei rifiuti radioattivi di bassa e media attività, presenti anche caratteristiche favorevoli ai fini dello smaltimento dei rifiuti ad alta attività e a lunga vita ("deposito unico nazionale").

In tale contesto, il "deposito unico nazionale" non può che essere situato in una formazione geologica profonda.

Tra queste, vanno privilegiati i giacimenti salini per le seguenti considerazioni:

- nella situazione italiana, i giacimenti salini sono inglobati in formazioni argillose, potendo così sommare, nei casi più favorevoli, i vantaggi di entrambe le formazioni;
- le formazioni di granito e di argilla presentano generalmente caratteristiche di disomogeneità (fratturazioni nel caso dei graniti, inclusioni sabbiose nel caso delle argille); i potenziali effetti negativi di tali caratteristiche non sono riscontrabili nei giacimenti salini;
- gli unici esempi operativi, in passato o attualmente, su scala mondiale, di depositi in formazioni geologiche profonde sono tutti in giacimenti salini:
    - Il deposito salino di Asse (Germania)
    - Il deposito salino "ERAM" di Morsleben (Germania)
    - Il deposito salino "WIPP" di Carlsbad (Nuovo Messico, USA).

Lo studio promosso dalla Commissione delle Comunità Europee dal titolo "European catalogue of geological formations having favourable characteristics for the disposal of solidified high level waste and/or long lived radioactive waste", edito nel 1979, nel volume 7° dedicato all'Italia elenca 13 giacimenti salini ritenuti potenzialmente idonei ad ospitare un deposito di rifiuti radioattivi, di cui 11 in Sicilia, 1 in Calabria, 1 in Basilicata (il sito di Scanzano Ionico), esprimendo un giudizio particolarmente positivo per quest'ultimo, a causa del notevole spessore della copertura impermeabile al di sopra del giacimento salino.

Le aree in Sicilia e quella in Calabria, tuttavia, non garantiscono a priori l'assenza del rischio di azione diretta di strutture sismogenetiche in campo prossimo, e, di conseguenza, l'esclusione di possibili fenomeni di fagliazione, mentre il sito di Scanzano è certamente fuori (e lontano) dalle zone sismogenetiche dell'Appennino e della Calabria settentrionale, la localizzazione delle quali è oggi ben nota.

Ulteriori e più recenti studi sul sito di Scanzano Ionico, effettuati, tramite perforazioni e campagne sismiche, da Società interessate allo sfruttamento del giacimento salino, hanno permesso di definire più precisamente le caratteristiche del giacimento stesso (età di 7 milioni di anni, spessore di circa 200 m, estensione per oltre 2 km, larghezza di oltre 700 m) e lo spessore della sua copertura (circa 500 m di argille plioceniche).

Questi ultimi dati costituiscono un ulteriore e significativo supporto alla candidatura del suddetto giacimento per il "deposito unico nazionale".

La scelta del giacimento di salgemma nel sito di Scanzano Ionico per il "deposito unico nazionale" di tutte le tipologie di rifiuti radioattivi, motivata dalle considerazioni finora svolte, è ulteriormente validata dal fatto che, almeno in prima istanza, esso appare in grado di rispettare i requisiti di sicurezza stabiliti dalla normativa nazionale, in armonia con le raccomandazioni degli Organismi Internazionali più autorevoli nel settore specifico.

In particolare:

- la qualità e la profondità delle formazioni geologiche (500 m di argilla + 200 m di sale) sono in grado di assicurare l'isolamento dei radionuclidi dalla biosfera anche a lungo termine, con garanzia, in ogni caso, del rispetto dei limiti più stringenti di dose alle popolazioni (non più di 10 microsievert/anno, da confrontare con la dose del fondo naturale, pari a 2.500 microsievert/anno);
- la profondità del deposito costituisce la migliore difesa possibile nei confronti di azioni terroristiche anche di particolare gravità, sia presenti che future;
- le caratteristiche della formazione geologica ospite, nonché la localizzazione del sito stesso, sono congruenti con le raccomandazioni contenute nella "Safety Guide: Siting of Geological Disposal Facilities" dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA).

In armonia con le recenti tendenze internazionali, il deposito dovrà essere realizzato in modo da garantire la ricuperabilità dei rifiuti, al meglio delle attuali conoscenze, ed entro un arco temporale dell'ordine di 100-200 anni.

In conclusione, per quanto finora detto, la formazione geologica profonda costituita dal giacimento di salgemma di Scanzano Ionico si presenta come ottimale per lo smaltimento dei rifiuti a bassa e media attività (per i quali è con ogni probabilità anche ridondante) e presenta, allo stesso tempo, caratteristiche estremamente promettenti per lo smaltimento dei rifiuti ad alta attività e a lunga vita, rappresentando quindi la candidatura più valida per un "deposito unico nazionale".

Va tuttavia sottolineata la necessità di avviare immediatamente una accurata e dettagliata campagna di qualificazione, solo al termine della quale si potrà avere una definitiva e inoppugnabile conferma delle suddette positive valutazioni.

Prof. Umberto Colombo

Considerazioni sulla scelta di Scanzano Ionico come sito nazionale centralizzato per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi

L'inventario dei rifiuti radioattivi italiani, valutato attualmente in ragione di circa 60.000 metri cubi di rifiuti e di circa 300 tonnellate di combustibile irraggiato, è di entità assai limitata rispetto a quello dei Paesi nuclearmente più avanzati, e per di più, all'interno di esso, i rifiuti radioattivi ad alta attività e a lunga vita costituiscono una percentuale assai ridotta, e destinata a rimanere tale in mancanza di programmi nucleari a scopi energetici.

Escludendo la possibilità di cessione definitiva a Paesi Terzi dei rifiuti ad alta attività e del combustibile irraggiato, per motivi di carattere socio-politico oltre che etico, resta la necessità di provvedere, sia pure in tempi non immediati, al loro smaltimento definitivo sul territorio nazionale.

Appare pertanto giustificata la ricerca di un sito centralizzato nazionale che, pur destinato in prima istanza allo smaltimento dei rifiuti radioattivi di bassa e media attività, presenti anche caratteristiche favorevoli ai fini dello smaltimento dei rifiuti ad alta attività e a lunga vita ("deposito unico nazionale").

In tale contesto, il "deposito unico nazionale" non può che essere situato in una formazione geologica profonda.

Tra queste, vanno privilegiati i giacimenti salini per le seguenti considerazioni:

- nella situazione italiana, i giacimenti salini sono inglobati in formazioni argillose, potendo così sommare, nei casi più favorevoli, i vantaggi di entrambe le formazioni;
- le formazioni di granito e di argilla presentano generalmente caratteristiche di disomogeneità (fratturazioni nel caso dei graniti, inclusioni sabbiose nel caso delle argille); i potenziali effetti negativi di tali caratteristiche non sono riscontrabili nei giacimenti salini;
- gli unici esempi operativi, in passato o attualmente, su scala mondiale, di depositi in formazioni geologiche profonde sono tutti in giacimenti salini:
    - Il deposito salino di Asse (Germania)
    - Il deposito salino "ERAM" di Morsleben (Germania)
    - Il deposito salino "WIPP" di Carlsbad (Nuovo Messico, USA).

Lo studio promosso dalla Commissione delle Comunità Europee dal titolo "European catalogue of geological formations having favourable characteristics for the disposal of solidified high level waste and/or long lived radioactive waste", edito nel 1979, nel volume 7° dedicato all'Italia elenca 13 giacimenti salini ritenuti potenzialmente idonei ad ospitare un deposito di rifiuti radioattivi, di cui 11 in Sicilia, 1 in Calabria, 1 in Basilicata (il sito di Scanzano Ionico), esprimendo un giudizio particolarmente positivo per quest'ultimo, a causa del notevole spessore della copertura impermeabile al di sopra del giacimento salino.

Le aree in Sicilia e quella in Calabria, tuttavia, non garantiscono a priori l'assenza del rischio di azione diretta di strutture sismogenetiche in campo prossimo, e, di conseguenza, l'esclusione di possibili fenomeni di fagliazione, mentre il sito di Scanzano è certamente fuori (e lontano) dalle zone sismogenetiche dell'Appennino e della Calabria settentrionale, la localizzazione delle quali è oggi ben nota.

Ulteriori e più recenti studi sul sito di Scanzano Ionico, effettuati, tramite perforazioni e campagne sismiche, da Società interessate allo sfruttamento del giacimento salino, hanno permesso di definire più precisamente le caratteristiche del giacimento stesso (età di 7 milioni di anni, spessore di circa 200 m, estensione per oltre 2 km, larghezza di oltre 700 m) e lo spessore della sua copertura (circa 500 m di argille plioceniche).

Questi ultimi dati costituiscono un ulteriore e significativo supporto alla candidatura del suddetto giacimento per il "deposito unico nazionale".

La scelta del giacimento di salgemma nel sito di Scanzano Ionico per il "deposito unico nazionale" di tutte le tipologie di rifiuti radioattivi, motivata dalle considerazioni finora svolte, è ulteriormente validata dal fatto che, almeno in prima istanza, esso appare in grado di rispettare i requisiti di sicurezza stabiliti dalla normativa nazionale, in armonia con le raccomandazioni degli Organismi Internazionali più autorevoli nel settore specifico.

In particolare:

- la qualità e la profondità delle formazioni geologiche (500 m di argilla + 200 m di sale) sono in grado di assicurare l'isolamento dei radionuclidi dalla biosfera anche a lungo termine, con garanzia, in ogni caso, del rispetto dei limiti più stringenti di dose alle popolazioni (non più di 10 microsievert/anno, da confrontare con la dose del fondo naturale, pari a 2.500 microsievert/anno);
- la profondità del deposito costituisce la migliore difesa possibile nei confronti di azioni terroristiche anche di particolare gravità, sia presenti che future;
- le caratteristiche della formazione geologica ospite, nonché la localizzazione del sito stesso, sono congruenti con le raccomandazioni contenute nella "Safety Guide: Siting of Geological Disposal Facilities" dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA).

In armonia con le recenti tendenze internazionali, il deposito dovrà essere realizzato in modo da garantire la ricuperabilità dei rifiuti, al meglio delle attuali conoscenze, ed entro un arco temporale dell'ordine di 100-200 anni.

In conclusione, per quanto finora detto, la formazione geologica profonda costituita dal giacimento di salgemma di Scanzano Ionico si presenta come ottimale per lo smaltimento dei rifiuti a bassa e media attività (per i quali è con ogni probabilità anche ridondante) e presenta, allo stesso tempo, caratteristiche estremamente promettenti per lo smaltimento dei rifiuti ad alta attività e a lunga vita, rappresentando quindi la candidatura più valida per un "deposito unico nazionale".

Va tuttavia sottolineata la necessità di avviare immediatamente una accurata e dettagliata campagna di qualificazione, solo al termine della quale si potrà avere una definitiva e inoppugnabile conferma delle suddette positive valutazioni.

Prof. Renato Angelo Ricci

Viggiano 03/11/03

Generale Carlo Jean
Presidente SO.G.I.N.
Roma

Oggetto: Scelta Del Sito Per La Realizzazione Di Un Deposito Di Rifiuti Radioattivi Di Media, Bassa Attivita'

Egregio generale Jean,
Mi scuso per questa risposta alquanto "informale", non su carta intestata dell'Università di Pisa, ma la sua lettera del 24/10/03 mi ha raggiunto in Appennino meridionale dove mi trovavo e mi trovo tuttora per ragioni di ricerca, e da qui Le rispondo.

La decisione di realizzare un deposito per rifiuti di media/bassa attività in salgemma è a mio parere, una scelta ottimale dal punto di vista della sicurezza, tanto che nel mondo un "deposito geologico" con caratteristiche analoghe a quelle del sito proposto in Italia è stata prevista solo per scorie ad alta attività.

Siti in Italia con depositi salini ben sviluppati a profondità ragionevolmente accessibile e con buona copertura sedimentaria impermeabile, - e pertanto da considerarsi potenziali candidati per l'ubicazione di un deposito di scorie nucleari - sono presenti in Basilicata nella zona costiera ionica, e in particolare a Scanzano, nella catena costiera Calabra (miniera di Lungro attiva sino a qualche decennio fa), nel Crotonese (giacimenti salini parzialmente sfruttati, nel passato, dalla società Montecatini), e soprattutto in Sicilia nel cosiddetto bacino di Caltanisetta, area storica nello sfruttamento del salgemma e dello zolfo.

Tra le realtà possibili quella di Scanzano è certamente la migliore perché tiene fuori in partenza un grave rischio geologico che è quello legato alla sismicità.
Per poter prendere in considerazione la zona di Lungro, il Crotonese e il bacino di Caltanisetta, infatti occorrerebbe svolgere preliminarmente lunghe e complesse indagini sismotettoniche al fine di garantire (forse) l'ubicazione del deposito fuori dall'azione diretta di strutture sismogenetiche in campo vicino e fuori, pertanto, da possibili fenomeni di fagliazione.

Il sito di Scanzano è certamente fuori (e lontano) dalle zone sismogenentiche dell'Appennino e della Calabria Settentrionale la localizzazione delle quali è oggi ben nota.
In termini di caratteristiche tecniche poi, il sito di Scanzano offre le garanzie di un giacimento salino profondo di considerevole spessore protetto da una copertura argillosa impermeabile di oltre 600 m di spessore.

Non c'è dubbio che per la qualificazione del sito saranno necessarie numerose ed approfondite analisi, ma sin da ora è lecito affermare che la scelta di Scanzano è una scelta decisamente ottimale da un punto di vista geologico e che la probabilità di scoprire serie controindicazioni nel corso delle indagini per la qualificazione del sito sono indubbiamente bassissime.
Scusandomi ancora per il carattere informale di questa lettera, Le porgo i miei migliori saluti e auguri di buon lavoro.

Paolo Scandone

(trascrizione da lettera manoscritta)

2 INDIRIZZI ISTITUZIONALI

Nell'ultimo decennio sono stati emanati in sede istituzionale indirizzi rilevanti in materia di sistemazione definitiva dei rifiuti radioattivi. I principali indirizzi sono richiamati in modo sintetico di seguito.

- 1995 - Prima Conferenza Nazionale ANPA. Viene identificata come obiettivo prioritario per la messa in sicurezza la necessità di *"selezionare, qualificare e rendere operativo un sito nazionale per lo smaltimento dei rifiuti di II categoria condizionati"*.

- 1997 - Seconda Conferenza Nazionale ANPA. Viene ribadito l'obiettivo prioritario di *"individuare, caratterizzare e rendere operativo un sito nazionale per lo smaltimento dei rifiuti di II categoria e per il deposito a medio termine del combustibile irraggiato e dei rifiuti ad alta attività"*.

- 1999 - Dipartimento della Protezione Civile - Risoluzione del Gruppo di Lavoro "Destinazione Rifiuti Radioattivi". Vengono stabiliti i seguenti obiettivi da perseguire:

  – *"individuazione e qualificazione di un sito idoneo ad ospitare il deposito;*
  – *struttura ingegneristica superficiale, con soluzioni tecniche che tengano conto delle condizioni geologiche e geomorfologiche del sito, tipologia appropriata per lo smaltimento definitivo dei rifiuti di II Categoria;*
  – *localizzazione, nello stesso sito di ubicazione del deposito definitivo, della infrastruttura ingegneristica per l'interim storage del combustibile irraggiato e dei rifiuti di III Categoria condizionati".*

- 1999 - Commissione parlamentare di inchiesta sul ciclo dei rifiuti ("Commissione Scalia"). Il documento conclusivo stabilisce fra l'altro quanto segue:

  – *"La creazione di un idoneo centro di deposito definitivo è la condizione indispensabile per avviare le attività di denuclearizzazione dei siti esistenti, e, inoltre, per ridurre i rischi associati all'attuale sistemazione dei rifiuti, rischi che nel tempo sono destinati ad aumentare con l'invecchiamento progressivo delle strutture attuali".*

- 1999 - Accordo tra Governo, Regioni e Province autonome per la gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi italiani. L'accordo stabilisce fra l'altro quanto segue:

  – *"E' unanimemente riconosciuto che, nell'ambito dell'azione correttiva volta a dare copertura al deficit segnato dal nostro Paese sul fronte della gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi e della disattivazione degli impianti nucleari, assume un ruolo determinante l'allestimento di un deposito nazionale per i rifiuti radioattivi e per il combustibile irraggiato".*

- 1999 - Ministero dell'Industria. Il Documento al Parlamento del 14 dicembre 1999 (Indirizzi strategici per la gestione degli esiti del nucleare) stabilisce fra l'altro quanto segue:

  "Le azioni da intraprendere con priorità riguardano:
  – *per i rifiuti di II categoria: la predisposizione di un deposito definitivo di tipo superficiale e quindi il reperimento di un sito adeguato per la sua localizzazione;*
  – *per i rifiuti di III categoria (includendo in essi anche i combustibili nucleari irraggiati non inviati all'estero per il ritrattamento): la predisposizione di una adeguata struttura ingegneristica per il loro immagazzinamento temporaneo (dell'ordine di alcune decine di anni), localizzata nello stesso sito di deposito definitivo dei rifiuti di II categoria"*

- 2001 - Ministero dell'Industria. Il DM 7 maggio 2001 (Indirizzi strategici e operativi alla SOGIN) attribuisce alla Società i seguenti compiti:

  – *individuazione e caratterizzazione del sito per il deposito dei rifiuti radioattivi, il relativo assetto del territorio e lo sviluppo economico e sociale della comunità locale, oltre alla tutela dell'ambiente;*
  – *predisposizione del deposito nazionale sia per lo smaltimento definitivo dei rifiuti condizionati di II categoria, che per lo stoccaggio temporaneo a medio termine, in una struttura ingegneristica, dei rifiuti di III categoria e del combustibile irraggiato non riprocessato.*

- 2003 - Camera dei Deputati - Commissione VIII (Ambiente, Territorio e Lavori Pubblici): Indagine Conoscitiva sulla sicurezza ambientale dei siti ad elevata concentrazione inquinante di rifiuti pericolosi e radioattivi. Il documento conclusivo stabilisce al capitolo 4 quanto segue:

  – *"(…) Riveste pertanto carattere di assoluta urgenza la realizzazione di un deposito unico nazionale all'interno del quale allocare i rifiuti radioattivi (…)"*

- 2003 - Disegno di Legge "Riordino del settore energetico, nonché delega al Governo in materia di (...) gestione dei rifiuti radioattivi", A.S. n. 2421. L'Art. 30 del DDL stabilisce quanto segue:

  – *"(...) Attribuire alla SOGIN (...) la responsabilità di condurre le indagini e gli studi per individuare i siti atti alla realizzazione, da parte della medesima, del deposito nazionale dei rifiuti radioattivi dove allocare e gestire in via definitiva i rifiuti di II Categoria e, in via temporanea, quelli di III Categoria e il combustibile irraggiato".*

- 2003 - DPCM 14 febbraio 2003 (Dichiarazione dello stato di emergenza in relazione all'attività di smaltimento dei rifiuti radioattivi). Il DPCM stabilisce quanto segue:

  – *"Considerata l'ineludibile esigenza di assumere iniziative straordinarie ed urgenti volte a realizzare lo smaltimento dei rifiuti radioattivi dislocati nelle centrali nucleari presenti sul territorio delle regioni Lazio, Campania, Emilia Romagna, Basilicata e Piemonte in condizioni di massima sicurezza"*
  – *"E' dichiarato, fino al 31 dicembre 2003, lo stato di emergenza nei territori citati in premessa in relazione all'attività di smaltimento dei rifiuti radioattivi"*

- 2003 - OPCM n. 3267 (Disposizioni urgenti in relazione all'attività di smaltimento, in condizioni di massima sicurezza, dei materiali radioattivi…). L'ordinanza stabilisce quanto segue:

  – *"Il Commissario delegato provvede, d'intesa con la Conferenza dei Presidenti delle regioni e delle province autonome di Trento e Bolzano, a porre in essere ogni iniziativa utile per la predisposizione di uno studio volto a definire le soluzioni idonee a consentire la gestione centralizzata delle modalità di deposito dei rifiuti radioattivi".*

3 STUDI E RICERCHE PREGRESSE IN AMBITO NAZIONALE

3.1 Premessa

Sistemare definitivamente i rifiuti radioattivi significa isolarli dalla biosfera per il tempo necessario a consentire il decadimento della radioattività in essi presente fino a livelli confrontabili con quelli naturali. Sistemazione definitiva significa anche esclusione di carichi sanitari e gestionali indebiti per le generazioni future.
L'isolamento dei rifiuti avviene tramite combinazioni di barriere naturali e artificiali con tipologie e proporzioni reciproche variabili a seconda delle opzioni di deposito prescelte e dei caratteri fisico-ambientali del territorio sede di tali strutture.
L'isolamento si pone in termini temporali assai distanti per i due gruppi di rifiuti prodotti dalle attività nucleari: centinaia di anni per un primo gruppo, decine o centinaia di migliaia di anni per un secondo gruppo.
La normativa tecnica nazionale identifica tali gruppi di rifiuti rispettivamente nella seconda e nella III categoria della classificazione rinvenibile nella GT N. 26, dove i rifiuti radioattivi sono così classificati:

- *Rifiuti di II categoria:* rifiuti a bassa e media attività che contengono essenzialmente radionuclidi con tempi di dimezzamento uguali o inferiori a 30 anni, e una quantità assai limitata di radionuclidi a lunga vita, così da raggiungere, nell'arco di alcune centinaia di anni, concentrazioni di radioattività paragonabili a quelle del fondo naturale. In particolare, la loro concentrazione di radioattività, a seguito dei processi di trattamento e condizionamento, non deve superare, all'atto dello smaltimento, i valori indicati nella Tabella 1 della Guida Tecnica n. 26 dell'APAT. Il loro smaltimento può essere effettuato in depositi definitivi di tipo superficiale o sub-superficiale a bassa profondità.

- *Rifiuti di III categoria*: rifiuti ad alta attività e/o contenenti quantità significative di radionuclidi a lunga vita, la cui concentrazione di radioattività, a seguito dei processi di trattamento e condizionamento, supera, all'atto dello smaltimento, i valori indicati nella Tabella 1 della Guida Tecnica n. 26 dell'APAT. Tale categoria può includere anche il combustibile irraggiato, qualora rientri nella definizione di "rifiuti radioattivi" secondo l'art. 4 comma 3 lettera i del D.L.vo n. 241/00. Lo smaltimento di tali rifiuti è effettuato in formazioni geologiche stabili ad elevata profondità.

Per l'isolamento dei rifiuti a bassa e media attività e a breve tempo di decadimento (II categoria) sono adottate nel mondo varie configurazioni di deposito e varie ubicazioni ambientali (vedasi successivo capitolo 5). Realizzazioni sopra la superficie topografica, a piccola profondità o in preesistenti cavità soddisfano l'esigenza di sistemazione definitiva.
Per l'isolamento dei rifiuti ad alta attività e/o a lungo tempo di decadimento (III categoria) esiste un largo e consolidato consenso in ambito scientifico che la soluzione più idonea sia quella dello smaltimento geologico, e cioè il confinamento dei rifiuti in formazioni geologiche profonde ritenute idonee ad assicurare l'isolamento per i tempi necessari al decadimento. Mentre su scala mondiale sono operativi o in fase di approntamento numerosi laboratori sotterranei per validare ulteriormente tale soluzione, l'unico esempio al mondo di applicazione dello smaltimento geologico su scala significativa di rifiuti radioattivi ad alta attività e/o a lunghissima vita media è quello del deposito statunitense denominato WIPP (Waste Isolation Pilot Plant) in cui vengono inviati tutti i rifiuti contenenti elementi transuranici a lunghissima vita media prodotti negli USA nel quadro dei programmi militari.

In ambito nazionale, le attività relative alla sistemazione definitiva dei rifiuti radioattivi hanno avuto una evoluzione parallela a quella delle attività nucleari; in particolare:

- negli anni Settanta e Ottanta, quando si prevedeva un forte impegno nazionale nell'utilizzazione del nucleare da fissione come fonte energetica, l'attenzione è stata principalmente rivolta allo studio delle possibili soluzioni (smaltimento geologico) per i rifiuti di III categoria che la realizzazione di tale programma avrebbe prodotto in quantità non trascurabili;
- dalla metà degli anni Novanta, la mancata realizzazione del suddetto programma e la chiusura degli impianti nucleari esistenti ha focalizzato maggiormente l'attenzione sulla sistemazione definitiva (in superficie o sub-superficie) della grande quantità di rifiuti radioattivi di II categoria derivanti sia dalla loro passata gestione che dal loro smantellamento.

Ultimamente, sulla base dell'indirizzo governativo di concentrare l'attenzione su una soluzione possibilmente unitaria per tutte le categorie di rifiuti radioattivi, si è potuto far riferimento all'intero patrimonio di studi sulla sistemazione definitiva dei rifiuti radioattivi accumulato in ambito nazionale negli scorsi decenni.

Qui di seguito si riporta una descrizione sintetica dei suddetti studi.

3.2 Attività dell'ENEA sullo smaltimento geologico dei rifiuti di III categoria

Un notevole impegno è stato esercitato nello studio delle soluzioni concettuali e sitologiche per la sistemazione dei rifiuti ad alta attività e/o a lunga vita (III Categoria). Un apposito "Progetto Smaltimento Geologico Rifiuti Radioattivi" è stato istituito dall'ENEA (allora CNEN) nel 1978. Le attività furono successivamente intensificate in occasione della partecipazione italiana ai programmi comunitari che hanno permesso lo sviluppo di ricerche sistematiche e coordinate a livello internazionale.
Alla metà degli anni '70 il CNEN aveva già avviato, in cooperazione con il Servizio Geologico Nazionale e nell'ambito del progetto della Comunità Europea per la "gestione e stoccaggio dei rifiuti radioattivi" (contratto CNEN-EURATOM 022-76-9 WASI), uno studio delle formazioni geologiche presentanti caratteristiche favorevoli allo smaltimento dei rifiuti radioattivi solidi ad alta attività e/o a lunga vita. Lo studio riguardava l'esame delle formazioni cristalline granitiche, argillose in senso lato e quelle saline (giacimenti di salgemma).
Le conclusioni dello studio sono state recepite del documento della Commissione delle Comunità Europee: "European catalogue of the geological formations having favourable characteristics for the disposal of solidified high level and/or long lived radioactive wastes" del Settembre 1979, il cui Capitolo 7 è interamente dedicato all'Italia.
Nel complesso, le attività sono state svolte nel periodo 1976-'89 e hanno interessato 6 tematiche principali: studi geologico-territoriali; evidenze naturali delle capacità di barriera idrologica e geochimica delle argille, sperimentazioni in laboratorio, studi e sperimentazioni in sito, studi di ingegneria e analisi di sicurezza.
Va ricordato in particolare il contribuito scientifico dell'ENEA alla identificazione e allo studio dei cosiddetti "analoghi naturali"[6] quali strumenti di validazione del concetto di smaltimento geologico, oggi largamente utilizzati nelle analisi di sicurezza a lunghissimo termine dei siti.
In particolare l'applicazione degli analoghi naturali presenti sul territorio italiano è stata focalizzata sulle formazioni argillose poiché, nella ripartizione dei compiti tra i Paesi partecipanti ai programmi comunitari, l'ENEA indirizzava l'impegno verso queste formazioni. I risultati di studio hanno permesso di dimostrare le eccezionali proprietà dell'argilla quale contenitore geologico

[6] Vi sono in natura esempi di processi fisici, chimici e biologici analoghi a quelli che si presume debbano svilupparsi all'intorno e all'interno dei depositi geologici di rifiuti radioattivi nella scala temporale delle centinaia di migliaia di anni.
Particolarmente interessanti, come esempio tipico in tale ambito, sono i tronchi d'albero di una antica foresta preistorica inglobati all'interno di una formazione argillosa. Il legno è perfettamente conservato. La datazione ha rivelato un'età di circa 2 milioni di anni. Questo fatto, assolutamente naturale, dimostra, in modo evidente e inconfutabile, la capacità di una formazione geologica (in questo caso specifico, l'argilla) di isolare perfettamente dall'ambiente esterno e dalla circolazione delle acque sotterranee per tempi lunghissimi quanto in essa contenuto, proteggendo per lunghissimo tempo perfino materiale deperibile come il legno.

dei rifiuti a lunga vita. Tali proprietà possono risultare utili sia nel caso il deposito dei rifiuti radioattivi venga realizzato in una formazione di argilla, sia nel caso la formazione di argilla inglobi la formazione salina ospitante direttamente il deposito.

3.3 Studi e ricerche dell'ENEA sul deposito definitivo dei rifiuti di II categoria

La prima azione svolta dall'ENEA per la ricerca di siti di sistemazione dei rifiuti di II categoria ha avuto luogo negli anni '70. Il progetto, denominato "Destinazione Ultima Rifiuti Radioattivi" (DURA), era focalizzato soprattutto sullo smaltimento dei rifiuti radioattivi provenienti dalle attività di ricerca.
Furono effettuate limitate attività di indagine, a livello di studio concettuale preliminare, su alcune piccole isole del Meridione, ma tali attività vennero ben presto abbandonate.
Alla fine degli anni Settanta l'ENEA eseguì un'indagine preliminare sulla possibilità di utilizzazione di alcuni siti del Demanio Militare in via di alienazione, ma da tale analisi non emersero, all'epoca, risultati significativi.
Alla metà degli anni Ottanta venne richiesto all'ENEA di individuare un sito per lo stoccaggio di 10.000 m^3 di rifiuti condizionati a bassa attività di proprietà dell'ENEL. L'ENEA individuò tre tipologie di possibili situazioni sitologiche:

- rilievi a sommità pianeggiante, arealmente delimitati, chiusi in basso da complessi litologici permeabili di varia natura, con falda locale profonda sostenuta da substrati impermeabili; di tali situazioni è stata redatta una carta di tutto il territorio italiano;
- cave di argilla a fronte molto inclinato, con spessore di argilla al retrofronte sufficiente all'escavazione di gallerie di volume adeguato a soddisfare la necessità indicata;
- gallerie ferroviarie abbandonate e miniere esaurite.

I risultati delle elaborazioni cartografiche e delle verifiche in sito furono raccolti in un rapporto consegnato al Ministero dell'Industria. Non ci fu tuttavia alcun seguito.
Nel 1988 l'ENEA-DISP si occupò della verifica dell'idoneità di alcune decine di aree del Demanio Militare per l'eventuale ubicazione di un deposito finale per i rifiuti di II categoria. Si arrivò alla individuazione di quattro siti idonei, all'epoca occupati da depositi di munizioni dimessi o in via di dismissione, che furono elencati in ordine decrescente di preferenza. Di questi quattro siti, i primi due erano ritenuti particolarmente raccomandabili ai fini della realizzazione del deposito definitivo per i rifiuti di II categoria. Anche in questo caso l'iniziativa non ebbe alcun seguito pratico.

3.4 La Task Force Sito dell'ENEA

Nel 1996, dando seguito alle raccomandazioni espresse in tal senso dalla Sezione Nucleare della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile, l'ENEA ha costituito per la prima volta nell'ambito della propria struttura operativa una task force (Task Force Sito, TFS) specificamente operante per la individuazione del sito nazionale per il deposito definitivo dei rifiuti di II categoria.
L'incarico specifico della TFS è stato quello di intraprendere le azioni di natura progettuale e sitologica dirette alla progettazione di sistemi di deposito adeguati alla situazione italiana e alla individuazione e messa a punto di una metodologia per la selezione e la qualificazione di siti idonei ad ospitare i sistemi di deposito.
La prima azione svolta dalla TFS è stata la preparazione di uno studio di fattibilità, a livello di esercizio teorico, relativo alla localizzazione del deposito in due siti del demanio militare scelti tra quelli che erano stati oggetto di investigazione preliminare da parte dell'ENEA-DISP negli anni 1988-1989. Gli obiettivi dello studio erano di tipo generale, cioè diretti non a verificare in

via preliminare l'idoneità dei due siti, ma a identificare una metodologia di valutazione dei siti e di verifica dell'impatto ambientale.
Tale metodologia, nota come *performance assessment* o *safety assessment* e mai applicata in Italia per installazioni di questo tipo, si basa sull'uso di modelli di calcolo che consentono la determinazione dell'impatto ambientale derivante da una determinata soluzione ingegneristica di deposito, noti i dati di base della configurazione geografica del sito.
Lo studio è stato completato nel febbraio 1998. Sulla base dei risultati e delle problematiche in esso individuate, e tenuto conto dei compiti assegnati, la TFS ha avviato a partire dal 1998 le seguenti azioni:

- azioni dirette alla definizione dell'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi;
- azioni dirette allo studio delle barriere artificiali di confinamento dei rifiuti radioattivi;
- progettazione concettuale del sistema di deposito, con inclusione del sistema di immagazzinamento dei combustibili irraggiati e dei rifiuti condizionati di III categoria;
- azioni dirette alla individuazione di una metodologia per lo svolgimento di indagini di tipo geografico mirate alla individuazione e valutazione preliminare di siti o aree geografiche;
- azioni dirette all'acquisizione e sviluppo di una metodologia qualificata per le analisi di sicurezza e di impatto ambientale (performance assessment) del sistema di deposito;
- azioni dirette alla predisposizione di documenti informativi per la diffusione su larga scala ("general public") delle informazioni sui rifiuti radioattivi e sul deposito definitivo.

A coronamento degli studi effettuati, nel 2001 la TFS ha sottoposto all'ANPA (ora APAT) una prima versione del "Progetto concettuale e di sistema del centro di deposito definitivo dei rifiuti radioattivi a bassa attività", allo scopo di avviare con l'autorità di sicurezza nucleare un confronto preliminare sulla valutazione e accettabilità dei criteri guida, delle metodologie di analisi di sicurezza e delle scelte tecnologiche assunti a riferimento.
Nel 2002 la TFS ha esteso anche alla valutazione preliminare dell'opzione sub-superficiale (deposito definitivo da realizzare in sotterraneo a bassa profondità) gli studi che fino al 2001 erano focalizzati essenzialmente su un deposito definitivo ingegneristico di tipo superficiale.
Contemporaneamente è stata portata a termine, con l'applicazione di criteri di esclusione e/o di preferenza sempre più stringenti, l'identificazione sul territorio nazionale di una serie di aree proponibili per un impianto esclusivamente di tipo superficiale. Tali aree, inizialmente in numero di oltre 200, sono state successivamente ridotte a una trentina, da indagare ulteriormente attraverso fasi di caratterizzazione e qualificazione.
Per un panorama più completo e aggiornato delle attività e delle pubblicazioni ENEA è possibile la consultazione del sito web al seguente indirizzo:

http://www.casaccia.enea.it/gsp3

3.5 Il Gruppo di Lavoro della Conferenza Stato-Regioni

Su iniziativa del Ministero dell'Industria, in parallelo all'emissione da parte dello stesso Ministero del documento "Indirizzi strategici per la gestione degli esiti del nucleare", che costituisce tuttora il riferimento di politica nazionale in materia di gestione dei rifiuti radioattivi e disattivazione degli impianti nucleari, venne formalizzato alla fine del 1999 il già ricordato "Accordo tra Governo, Regioni e Province autonome di Trento e Bolzano per la definizione e l'allestimento di alcune misure volte a promuovere la gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi prodotti in Italia".
Nell'ambito di tale accordo viene stabilita la creazione di un "Gruppo di lavoro sulle condizioni per la gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi" con il compito di sottoporre all'approvazione della Conferenza Stato-Regioni un documento contenente:

- lo stato dell'arte in ordine agli studi e alle ricerche prodotti per la localizzazione e realizzazione del deposito, con eventuale prospettazione dei punti critici e degli argomenti di approfondimento;
- proposte inerenti:

    - le iniziative di informazione e gli strumenti di confronto e coinvolgimento delle popolazioni e degli enti locali;
    - le procedure per la scelta del sito e gli strumenti di raccordo, con eventuale modificazione o nuova costituzione di forme di cooperazione strutturali e/o funzionali, che consentano la collaborazione e l'azione coordinata tra i diversi livelli di governo e di amministrazione, con evidenziazione delle soluzioni atte ad assicurare una maggiore semplificazione ed efficacia dell'azione amministrativa;
    - le soluzioni e gli strumenti volti a promuovere e realizzare le condizioni per l'armonico inserimento del deposito nel contesto territoriale circostante.

Il rapporto redatto dal Gruppo di Lavoro[7], approvato dalla Conferenza Stato-Regioni nella seduta del 31 gennaio 2002, è stato frutto di un considerevole sforzo di raccolta, elaborazione, valutazione critica e riorganizzazione di informazioni a livello sia nazionale che internazionale, e quindi di preziosissima consultazione ai fini della realizzazione del deposito definitivo. Le analisi riportate nel documento riguardano, in particolare:

- l'impatto ambientale del deposito definitivo;
- il quadro normativo e legislativo generale (non solo per gli aspetti tipicamente nucleari);
- l'eventuale possibilità di valorizzare, per il deposito nazionale dei rifiuti radioattivi, l'esperienza nazionale in materia di rifiuti non radioattivi (pericolosi o tossico-nocivi);
- gli obiettivi di sicurezza e radioprotezione nazionali e internazionali;
- il concetto di "reversibilità" e di "recuperabilità";
- le esperienze internazionali più significative;
- le procedure per la localizzazione;
- le misure di accompagnamento;
- le iniziative per l'informazione e gli strumenti di confronto e coinvolgimento delle popolazioni e delle autorità locali.

Le conclusioni più significative possono essere così sintetizzate:

- emerge rafforzata l'opzione di un sito unico, centralizzato a livello nazionale, in cui collocare sia il deposito definitivo dei rifiuti di II categoria sia il deposito temporaneo per i rifiuti di III categoria e per il combustibile irraggiato;
- occorre colmare le lacune tuttora presenti nella redazione dell'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi;
- deve essere seguita con interesse e attenzione l'opzione della recuperabilità dei rifiuti;
- devono essere considerate sia la soluzione superficiale che quella sub-superficiale o in caverna;
- devono essere poste in atto tutte le misure finalizzate alla partecipazione il più allargata possibile nel processo decisionale della selezione e scelta del sito;
- in tale ambito, essenziale è la diretta responsabilizzazione della Conferenza Unificata, in particolare per la definizione dei criteri di scelta;
- nell'ambito delle misure di accompagnamento, la realizzazione del deposito va presentata come facente parte di un "Progetto di sviluppo integrato del centro e del territorio"; in particolare, si tratta di un centro di alta specializzazione, in cui il deposito fa parte di un progetto assai più articolato, comprendente, ad esempio:

[7] Il GDL era costituito da sette membri, di cui quattro designati dalla Conferenza dei Presidenti delle regioni e delle Province Autonome e uno ciascuno dai Ministeri dell'Industria, dell'Ambiente e della Sanità. L'ENEA ha assicurato le funzioni di logistica, segreteria tecnica ed amministrativa. Il GDL ha nominato al suo interno il Coordinatore nella persona del dr. Massimo Cenerini.

- laboratori specializzati nella caratterizzazione dei materiali radioattivi;
- attività di ricerca nel campo della gestione e sistemazione dei rifiuti radioattivi ed in particolare dei rifiuti di III categoria;
- attività nel campo dei controlli e della caratterizzazione ambientali, come estensione dei controlli ambientali radiometrici comunque da effettuare nel centro e nei dintorni, (sorveglianza fisica e medica della radioprotezione) inclusa la formazione e la qualificazione di operatori specializzati;
- attività di studio, ricerca, sperimentazione e modellistica, per il mantenimento di una cultura nazionale nel campo della radioprotezione;
- attività di ricerca e sviluppo tecnologico nel campo del condizionamento dei rifiuti pericolosi, della qualificazione di materiali e manufatti, degli interventi robotizzati in ambienti ostili, ecc.;
- gestione di un centro di informazione e documentazione e di un centro congressi.

Per una informazione più completa sul rapporto del Gruppo di Lavoro si segnalano i seguenti siti web:

http://www.casaccia.enea.it/conferenza-statoregioni
http://www.palazzochigi.it/Conferenze/c_stato_regioni/Atti/dettaglio.asp?d=15808

3.6 Le attività SOGIN

A partire dalla fine del 2001 e fino a tutto il 2002 un gruppo di lavoro costituito all'interno della SOGIN ha effettuato uno studio preliminare sulla fattibilità dello smaltimento dell'inventario dei rifiuti radioattivi italiani a bassa attività in un deposito di tipo superficiale.
Lo studio è articolato nella trattazione dei seguenti argomenti principali:

- principi generali di riferimento a livello internazionale;
- inventario dei rifiuti;
- criteri di radioprotezione, criteri per la selezione;
- deposito di tipo superficiale;
- recuperabilità dei rifiuti;
- valutazioni di sicurezza a lungo termine (performance assessment).

Lo studio ha messo in evidenza:

- quali sono i radioisotopi che risultano più rilevanti ai fini delle valutazioni di sicurezza;
- la possibilità di collocare nel deposito anche alcune tipologie di rifiuti classificati di III categoria (ad esempio, la grafite del reattore di Latina) senza che ciò comprometta il rispetto dei requisiti di sicurezza a lungo termine;
- la primaria importanza delle caratteristiche fisiche e geochimiche del sito, al di là della funzione di isolamento delle barriere ingegneristiche;
- la necessità di una più puntuale definizione dell'inventario nazionale, con particolare riferimento ai radionuclidi più "critici" ai fini delle valutazioni di sicurezza.

3.7 Le attività ANPA (oggi APAT)

Negli ultimi anni, in previsione degli sviluppi delle attività, anche a livello preliminare, relative al deposito definitivo, sono state avviate dall'ANPA (oggi APAT) le seguenti iniziative:

- inventario nazionale dei rifiuti radioattivi già esistenti nei vari impianti, informatizzato tramite database interattivo e continuamente aggiornabile;
- programma di calcolo "RainMan" per la stima delle quantità di rifiuti prodotti dalla disattivazione degli impianti, in funzione dei vari parametri di riferimento (soluzioni processistiche e tecnologiche adottate, tipologia dei contenitori, livelli di rilascio, ecc.);
- raccolta presso le più autorevoli fonti internazionali dello stato dell'arte sulle tecnologie, le procedure di analisi di sicurezza e le relative modellizzazioni adottate, con particolare riferimento agli obiettivi fondamentali di sicurezza e radioprotezione ("commessa radioprotezionistica"), ai requisiti generali del sito, ai requisiti generali delle barriere, alle metodologie di valutazione di sicurezza, alle procedure di licensing, in vista della predisposizione di una specifica Guida Tecnica;
- avvio di iniziative per la formazione-informazione della pubblica opinione sulle problematiche relative alla messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi:

  - predisposizione di un sito web divulgativo http://www.sinanet.anpa.it/rifiutiradio/
  - sondaggio di opinione "*L'orientamento dell'opinione pubblica italiana sulla gestione dei rifiuti radioattivi*".

3.8 Le attività del Commissario Delegato

Con decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 14 febbraio 2003 è stato dichiarato lo stato di emergenza nelle aree di Lazio, Campania, Emilia Romagna, Basilicata e Piemonte che ospitano le installazioni nucleari italiane. La suddetta decisione è stata assunta a fronte dei seguenti fattori, connessi con la presenza di importanti quantità di rifiuti e materiali radioattivi nelle centrali elettronucleari, negli impianti di ricerca e industriali del ciclo del combustibile nucleare dimessi:

- aggravamento del rischio derivante dalla situazione di crisi internazionale;
- aggravamento del rischio di eventi alluvionali;
- necessità di iniziative straordinarie e urgenti per lo smaltimento dei materiali radioattivi giacenti;
- necessità di centralizzare i poteri relativi alla messa in sicurezza degli impianti a rischio.

In tale contesto, l'ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3267 del 7 marzo 2003 ha attribuito la carica di Commissario Delegato alla sicurezza nucleare al Presidente di SOGIN, Gen. Prof. Carlo Jean, e ha precisato i compiti, l'organizzazione, le modalità di finanziamento e i controlli per il raggiungimento degli obiettivi di cui al DPCM.
Tra queste azioni prioritarie, il punto centrale e condizionante per il raggiungimento del necessario livello di sicurezza è la sistemazione definitiva dei rifiuti radioattivi prodotti durante l'esercizio degli impianti nucleari e che saranno prodotti dallo smantellamento delle stesse installazioni.
Per la risoluzione di questo problema è indispensabile e urgente la scelta di un sito ove realizzare il deposito e i relativi impianti per

- il deposito definitivo dei rifiuti a media e bassa attività e a breve vita (II categoria nella classificazione prevista dalla Guida Tecnica n. 26 dell'APAT), che rappresentano volumetricamente la quantità principale di rifiuti;
- lo stoccaggio temporaneo in bunker dei rifiuti ad alta attività e/o a lunga vita (III categoria) e del combustibile irraggiato.

A tal fine l'OPCM n. 3267/2003, all'art. 1 comma 6, prevede espressamente quanto segue:

"Il Commissario delegato provvede, d'intesa con la Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano, a porre in essere ogni iniziativa utile per la predisposizione di uno studio volto a definire soluzioni idonee a consentire la gestione centralizzata delle modalità di deposito dei rifiuti radioattivi".

In applicazione del disposto dell'OPCM n. 3267, il Commissario Delegato ha costituito in data 11 aprile 2003 un gruppo di lavoro (nel seguito denominato GDL) del quale fanno parte esperti SOGIN, ENEA e delle università italiane con la partecipazione dell'APAT in veste di osservatore.
Il GDL, utilizzando gli studi già svolti da ENEA, SOGIN, APAT e Gruppo di Lavoro Stato-Regioni, si è posto l'obiettivo di fornire il quadro dei presupposti tecnico-scientifici derivanti dalle linee guida internazionali per l'individuazione di uno o più siti di riferimento da sottoporre alle previste operazioni di qualifica per la scelta definitiva del sito di deposito.
Per la predisposizione dello studio, il Gruppo di lavoro si è avvalso del supporto del Ministero dell'Ambiente, del Dipartimento della Protezione Civile, del Ministero delle Attività Produttive.
Il GDL ha orientato lo studio alla definizione di una procedura per la localizzazione di un deposito definitivo per i rifiuti di II categoria facendo riferimento alle tipologie di deposito ingegneristico superficiale o sub-superficiale (sotterraneo a bassa profondità) in formazioni di argilla o granito.

Le attività del GDL sono state monitorate e commentate, nel corso dello svolgimento dei lavori, dal Comitato Scientifico di SOGIN, composto di eminenti scienziati nel settore delle attività nucleari.

Lo studio è stato presentato in data 16 giugno 2003 alla Conferenza dei Presidenti delle Regioni e della Province Autonome. In data 24 luglio 2003 il Presidente della Conferenza comunicava che la stessa aveva ritenuto di dover sospendere l'esame della procedura in attesa di chiarimenti in merito alla possibilità di esportazione totale dei materiali radioattivi.

4 CRITERI GENERALI DI SICUREZZA

4.1 Riferimenti

I criteri di sicurezza e radioprotezione relativi al deposito definitivo dei rifiuti radioattivi, qui di seguito enunciati, fanno diretto riferimento alla normativa nazionale (1-3), alle normative vigenti nei paesi industriali dotati della normativa più avanzata in campo nucleare (4-9), nonché alle raccomandazioni emesse dalle più autorevoli organizzazioni internazionali del settore (10-28).
Si può pertanto affermare che su tali criteri esiste un largo e consolidato consenso in ambito internazionale.

4.2 Fasi operative caratteristiche del deposito definitivo

Le fasi operative caratteristiche di un deposito definitivo di rifiuti radioattivi sono le seguenti:

- la fase di sviluppo, durante la quale sono svolte le attività di studio preliminare, di selezione del sito, di progettazione dell'impianto, di definizione dei criteri di accettabilità dei rifiuti radioattivi ammessi allo smaltimento;
- la fase di realizzazione dell'impianto, con la preparazione del sito, la costruzione dei fabbricati e degli impianti;
- la fase di esercizio, che comprende la ricezione dei rifiuti e la loro disposizione nel deposito, la gestione del sistema di monitoraggio dei rilasci;
- la fase di chiusura finale, che ha lo scopo di fornire una configurazione definitiva al deposito;
- il rilascio del sito.

In ciascuna delle fasi si deve dimostrare e confermare la rispondenza del sistema agli obiettivi specifici di sicurezza per la protezione dei lavoratori, della popolazione e dell'ambiente.

4.3 Obiettivo fondamentale di sicurezza e radioprotezione per la gestione dei rifiuti radioattivi

L'obiettivo fondamentale di sicurezza e radioprotezione per la gestione dei rifiuti radioattivi, di tutte le tipologie (II categoria, III categoria, combustibile irraggiato se considerato rifiuto) è il seguente:

In tutte le attività inerenti alla gestione dei rifiuti radioattivi deve essere garantita la protezione dell'uomo e dell'ambiente, a breve e a lungo termine, e non devono essere imposti alle future generazioni carichi non dovuti.

4.4 Principi generali di sicurezza e radioprotezione relativi al deposito definitivo

L'obiettivo fondamentale sopra ricordato, se applicato al deposito definitivo dei rifiuti radioattivi, comporta il rispetto dei principi generali e dei criteri operativi enunciati qui di seguito:

1° *Le dosi aggiuntive[8], sia individuali che collettive, causate dal deposito definitivo alla popolazione esistente e alle future generazioni, dovranno essere mantenute al livello più*

[8] In Italia la dose annualmente assorbita da ogni individuo della popolazione per effetto della radioattività naturale è mediamente di 2,4 milli-Sievert all'anno (mSv/anno). La dose causata dal deposito definitivo deve rimanere confinata a una piccola frazione della dose dovuta alla radioattività naturale a cui si va ad aggiungere (tipicamente 0,01 ÷ 0,1 mSv/anno rispetto a 2,4 mSv/anno, ossia tra

basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali (Principio ALARA, As Low As Reasonably Achievable).

2° *Il deposito definitivo dei rifiuti radioattivi deve garantire la protezione dell'ambiente.*

3° *Il grado di isolamento dei rifiuti radioattivi deve essere tale che non possano essere previsti in futuro rischi per la salute dell'uomo, o conseguenze per l'ambiente, che oggi non sarebbero ritenuti accettabili.*

4° *La generazione che ha usufruito dei benefici delle attività che hanno prodotto i rifiuti radioattivi deve risolvere la problematica del deposito definitivo di tali rifiuti con i più elevati standard di sicurezza disponibili, in modo che nessun carico indebito debba essere trasferito alle future generazioni.*

5° *Fino al completamento della fase di controllo istituzionale, deve essere possibile il recupero dei rifiuti dal deposito nel sito di smaltimento, garantendo ai lavoratori, alla attuale generazione e a quelle future, nonché all'ambiente, le medesime condizioni di protezione di quelle della fase di esercizio.*

6° *Le informazioni essenziali relative al deposito definitivo devono essere conservate anche successivamente alla fase di controllo istituzionale, al fine di evitare il rischio di indebite intrusioni o di improprie riutilizzazioni del sito.*

Tali principi e criteri sono applicabili sia per i rifiuti di II categoria che per quelli di III categoria (per questi ultimi, si rimanda, per opportuno confronto, ai principi e criteri dell'IAEA riportati in Appendice1), anche se alcuni di essi sono particolarmente specifici, come ad esempio:

- il "controllo istituzionale" che si effettua sui depositi ingegneristici per i rifiuti di II categoria dopo la chiusura definitiva allo scopo di verificare la tenuta del sistema di confinamento e di assicurare la protezione contro le intrusioni;
- il controllo di sottocriticità per i rifiuti di III categoria contenenti materie fissili.

4.5 Criteri operativi di sicurezza e radioprotezione

Per l'applicazione dei suddetti principi generali, è necessario che siano rispettati i seguenti criteri operativi di sicurezza e radioprotezione:

A. *La ricettività radiologica del sito deve essere adeguata a consentire nelle condizioni di massima sicurezza lo smaltimento dell'intero inventario nazionale dei rifiuti radioattivi.*

B. *Nelle fasi di esercizio, chiusura e controllo istituzionale del deposito definitivo, la dose per i lavoratori e per la popolazione deve essere mantenuta entro i vincoli previsti dalla normativa vigente, nel rispetto dei seguenti obiettivi di progetto:*

- *Gruppo critico della popolazione[9]:*
  - *In condizioni normali: 10 μSv/anno*
  - *In condizioni incidentali: 1 mSv/anno*
- *Lavoratori:*

lo 0,4% e il 4% della dose dovuta al fondo naturale).

[9] Il "gruppo critico" è quello che include gli individui della popolazione che, sulla base degli scenari di potenziale rilascio dei radionuclidi dal deposito, sono più direttamente soggetti a ricevere dosi aggiuntive in quantità più significativa.

- *In condizioni normali:* *5 mSv/anno*
- *In condizioni incidentali:* *20 mSv/anno*

C. *Nel periodo successivo alla fase di controllo istituzionale, per qualsiasi arco temporale considerato, la dose efficace ricevuta dall'individuo appartenente al gruppo critico[10] della popolazione non deve eccedere:*

- *per condizioni di normale evoluzione:* *10 µSv/anno*
- *per scenari anomali, associati al verificarsi di eventi e processi improbabili:* *100 µSv/anno*

D. *La sicurezza a lungo termine del deposito definitivo deve essere garantita da un sistema di barriere multiple del quale fanno parte la matrice e il contenitore del rifiuto radioattivo, le varie barriere ingegneristiche e le barriere assicurate dalle caratteristiche naturali del sito.*

E. *Il deposito per rifiuti radioattivi deve essere progettato in modo tale che i rifiuti contenenti materie fissili siano sistemati in modo tale da garantire una configurazione intrinsecamente sottocritica.*

F. *La rispondenza dell'intero sistema di deposito con gli obiettivi di sicurezza e radioprotezione deve essere dimostrata per mezzo di analisi di sicurezza specialistiche ("safety assessment") basate su modelli il più possibile validati.*

G. *Il deposito definitivo deve garantire la conformità con i requisiti di tipo non radiologico per i rifiuti che presentano anche un rischio di natura chimico-biologica e che rientrano quindi nella categoria dei rifiuti tossico-nocivi.*

H. *Si deve prevedere un periodo di controllo istituzionale sul deposito, successivo alla sua chiusura, per controllare eventuali mancanze del sistema di confinamento e per assicurare la protezione contro le intrusioni.*

I. *Deve essere predisposta una opportuna raccolta di selezionate informazioni relative al deposito definitivo, incluse localizzazione, progetto e rifiuti in esso smaltiti, da conservare su supporto opportuno, in modo tale da poter mantenere la memoria storica del deposito stesso anche dopo il termine della fase di controllo istituzionale.*

4.6 Considerazioni sui limiti di dose efficace

Il limite di dose efficace per il lungo termine di 10 µSv/anno, citato nel paragrafo precedente (criteri B e C) e riportato nella tabella 2.1, è imposto dall'attuale normativa italiana come limite al di sotto del quale si può ritenere che la pratica che determina l'esposizione non abbia rilevanza radiologica (D.L.vo 26 maggio 2000, n. 241, Allegato 1, "Criteri di non rilevanza radiologica delle pratiche", in applicazione della Direttiva 96/29 Euratom, Allegato I, paragrafo 3).
Il suddetto limite è tuttavia inferiore a quello assunto come riferimento per la realizzazione e la gestione dei depositi definitivi per i rifiuti radioattivi di bassa e media attività già operativi in ambito internazionale (vedasi tabella 2.2).
In aggiunta, la Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP), l'organismo internazionale più autorevole e rispettato nel settore specifico, nella sue pubblicazioni N. 77

[10] Il "gruppo critico" è quello che include gli individui della popolazione che, sulla base degli scenari di potenziale rilascio dei radionuclidi dal deposito, sono più direttamente soggetti a ricevere dosi aggiuntive in quantità più significativa.

(1997) e N. 81 (1998) relative ai depositi definitivi per i rifiuti radioattivi, stabilisce tale limite a 300 µSv/anno.
Identica valutazione è riportata nella bozza dell'agosto 2003 della guida IAEA "Geological Disposal of Radioactive Waste – Draft Safety Requirements" di imminente pubblicazione.
Il rispetto integrale e incondizionato del limite di 10 µSv/anno previsto dall'attuale normativa italiana rischia pertanto di introdurre vincoli troppo restrittivi per il deposito definitivo nazionale, in considerazione della quantità e della qualità dei rifiuti radioattivi ad esso destinati.
Si ritiene pertanto di mantenere il limite di dose di 10 µSv/anno per gli scenari di normale evoluzione, elevando tale limite a 100 µSv/anno per scenari di tipo anomalo o associati al verificarsi di eventi e processi con probabilità di accadimento più ridotta.

4.7 Bibliografia

1. Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230 – attuazione delle direttive EURATOM 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti – Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana – Roma, 13 giugno 1995.
2. Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241 – attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti – Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana – Roma – 31 agosto 2000.
3. ENEA DISP - Guida Tecnica 26 – Gestione dei rifiuti radioattivi – ENEA DISP – Roma, 1987.
4. 10 CFR Ch. I PART 61 – Licensing requirements for land disposal of radioactive waste – U.S. Nuclear Regulatory Commission – 1-1-98 Edition *(normativa americana).*
5. REGLE N. I-2 - Conception Générale et Principes Généraux – Objectives de sureté et bases de conception pour les centres de surface destinés au stockage à long terme des déchets radioactifs solides de période courte ou moyenne et de faible ou moyenne activité massique – 19 juin 1984 *(normativa francese).*
6. RFS-III.2.f – Definition of goals to be set in the engineering and works phases for final disposal of radioactive waste in deep geologic formations, in order to ensure safety after the operational life ofthe repository - June 1991 – *(normativa francese)*.
7. GUIDELINE HSK-R-21 – Protection objectives for the disposal of radioactive waste – Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate *(normativa svizzera).*
8. Environment Agency – Radioactive Substances Act 1993 – Disposal facilities on land for low and intermediate level radioactive wastes: Guidance on requirements for authorisation *(normativa inglese).*
9. AECB - Regulatory Document R-104 - Regulatory objectives, requirements and guidelines for the disposal of radioactive wastes – long term aspects – June 1987 *(normativa canadese).*
10. IAEA – Safety Standard Series - Siting of Near Surface Disposal Facilities, IAEA safety Series No. 111-G-3.1 -IAEA, Vienna, 1994.
11. IAEA - Safety Standard Series – Near Surface Disposal of Radioactive Waste – REQUIREMENTS – No. WS-R-1 – IAEA, Vienna, 1999.
12. IAEA - Safety Standard Series – Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste – SAFETY GUIDE – No. WS-G-1.1 – IAEA, Vienna, 1999.
13. IAEA – Safety Standard Series - The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F, IAEA, Vienna, 1995.
14. IAEA – Technical Report Series no. 412 – Scientific and Technical Basis for the Near Surface Disposal of Low and Intermediate Level Waste – IAEA, Vienna, December 2002.
15. IAEA – Safety Series N° 99 – Safety Principles and Technical Criteria for the Underground Disposal of High Level Radioactive Waste – IAEA, Vienna, 1989
16. IAEA – Safety Series N° 111-G-4.1 – Siting of Geological Disposal Facilities – IAEA, Vienna, 1994

17. IAEA – TECDOC 1187 – Retrievability of high level waste and spent nuclear fuels – IAEA, Vienna, 2000
18. IAEA – TECDOC 1282 – Issues relating to safety standards on the geological disposal of radioactive waste – IAEA, Vienna, 2002
19. IAEA – DS 154 – Geological disposal of radioactive waste – Draft Safety Requirements – IAEA, Vienna, 2003
20. ICRP 46 – Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste – Annals of the ICRP – Volume 15/4 – Pergamon Press, 1985.
21. ICRP 60 – Recommendations of the International Commission on Radiological Protection – Annals of the ICRP – Volume 21 N. 1-3, Pergamon Press, 1991.
22. ICRP 77 – Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste – Annals of the ICRP – Volume 27 – Pergamon Press, 1997.
23. ICRP 81 – Radiation Protection Recommendations as applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive waste - Annals of the ICRP – Volume 28/4 – Pergamon Press, 1998.
24. NEA/OECD - Reversibility and Retrievability in Disposal of Radioactive Waste: Reflections at the International Level – Paris, 2001.
25. EUR 14598 IT – Evacuazione dei rifiuti radioattivi: criteri raccomandati per un sito di deposito – Serie Euradwaste n.6 – CEE, Bruxelles, 1992.
26. 1999/829 EURATOM – Raccomandazione della Commissione del 6 Dicembre 1999 sull'applicazione dell'articolo 37 del Trattato EURATOM per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi.
27. Proceedings of the International Symposium on Radioactive Waste Disposal : "Health and Environmental Criteria and Standards" – Stockholm, 1998.
28. Proceedings of the International Conference on "Record Management and Long Term Preservation and Retrieval of Information regarding Radioactive Waste" – Roma, Gennaio 2003.

5 RECUPERABILITÀ DEI RIFIUTI RADIOATTIVI

5.1 Generalità

Uno dei principi generali di sicurezza e radioprotezione da applicare ad un deposito definitivo di rifiuti radioattivi è il seguente:

> *La generazione che ha usufruito dei benefici delle attività che hanno prodotto i rifiuti radioattivi deve risolvere la problematica del deposito definitivo di tali rifiuti con i più elevati standard di sicurezza disponibili, in modo che nessun carico indebito debba essere trasferito alle future generazioni.*

Fermo restando il rispetto e l'applicazione di tale principio, non sembra tuttavia opportuno escludere in assoluto l'eventualità che le future generazioni, per loro libera scelta, e non per assumersi un carico non dovuto, possano decidere di gestire in modo da loro ritenuto più congruo i rifiuti radioattivi contenuti nel deposito.
Per di più, nel corso della fase di esercizio del deposito (la cui durata può arrivare a diverse decine di anni), potrebbe manifestarsi la necessità di eseguire operazioni di manutenzione straordinaria che implichino la momentanea rimozione dei rifiuti.
Per tali ragioni, con riferimento ai rifiuti a bassa e media attività (II categoria), negli ultimi tempi la possibilità di ricuperare i rifiuti ("recuperabilità") è divenuto uno specifico requisito progettuale per gran parte dei depositi definitivi più recentemente realizzati e/o attualmente in fase di studio.
Ad esempio, per quanto riguarda tali rifiuti, in Spagna e in Svizzera la loro recuperabilità è un requisito essenziale ai fini del procedimento di autorizzazione del deposito.
Per i suddetti depositi, in generale si adotta come criterio di progetto per la recuperabilità quello che ne consente l'attuabilità per un periodo di almeno 100 anni.
L'applicazione del criterio di recuperabilità ai depositi di rifiuti ad alta attività e/o a lunga vita media (III categoria) presenta aspetti di maggiore complessità.
Tali depositi, infatti, si trovano a grande profondità all'interno di formazioni geologiche, alcune delle quali (ad esempio le formazioni di salgemma) con spiccate tendenze autosigillanti.
Inoltre, la manipolazione dei colli dei rifiuti in essi depositati è assai delicata sia in termini radioprotezionistici (rischi di dosi non trascurabili), sia in termini pratici (ingombri e masse dei colli, a causa della necessità di protezione dalle radiazioni).
D'altra parte, le formazioni geologiche ospiti presentano, per il fatto stesso di essere state selezionate allo scopo, standard di sicurezza e affidabilità così elevati da far ritenere assai improbabile la necessità di dover ricorrere a soluzioni di deposito ancora migliori.
Ciò nonostante, l'opportunità di assicurare la recuperabilità anche per questa tipologia di rifiuti, sia pure entro un arco temporale necessariamente limitato, è stata oggetto di particolare attenzione in ambito internazionale.
Si segnalano, a tale proposito:

- Il Seminario Internazionale "Retrievability of High Level Waste and Spent Nuclear Fuel" tenutosi in Svezia nel 1999 a cura dell'IAEA (1);
- La "Concerted Action on Retrievability of Long lived Radioactive Waste in Deep Underground Reposirories" della Commissione Europea, 2000 (2);
- Lo studio dell'Agenzia Nucleare (NEA) dell'OECD (2001) dal titolo "Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste – Reflection at the International Level" (3).

Di particolare interesse è lo studio (4) recentemente commissionato dal Governo Olandese ad un raggruppamento di Organismi Nazionali (denominato CORA) a seguito della decisione politi-

ca, assunta nel 1993, che stabilisce il rispetto del criterio di recuperabilità anche per il futuro deposito dei rifiuti ad alta attività e a lunga vita.
In tale studio, viene valutata la fattibilità dell'applicazione del criterio di recuperabilità in depositi geologici di rifiuti radioattivi ad alta attività in formazioni di sale o di argilla.
In entrambi i casi, le conclusioni dello studio portano ad confermare la fattibilità tecnica della recuperabilità, anche se a prezzo di non trascurabili complicazioni di progetto e di esercizio, e a costi notevolmente maggiorati; in ogni caso, la recuperabilità può essere garantita solo per alcune centinaia di anni (tipicamente 100-200 anni).

La recuperabilità, in aggiunta alle motivazioni di carattere etico precedentemente illustrate, permette di conferire al deposito un maggior grado di flessibilità e, particolare non trascurabile, potrebbe anche favorirne l'accettabilità sociale.

Resta comunque inteso che il concetto di recuperabilità deve essere incorporato nei progetti realizzativi del deposito in modo tale da non compromettere minimamente il rispetto dei requisiti di sicurezza e radioprotezione assunti a riferimento per il deposito stesso. In altre parole, un eventuale recupero dei rifiuti deve garantire ai lavoratori e all'attuale e futura popolazione le medesime condizioni di radioprotezione imposte per la fase di messa a dimora.

Ai fini del presente studio, viene preso a riferimento come arco temporale di applicazione del criterio di recuperabilità un periodo di 100 anni a partire dalla data di chiusura del deposito.

5.2 Applicazione del criterio di recuperabilità.

La recuperabilità dei rifiuti da un deposito definitivo va esaminata nelle diverse fasi del ciclo di vita del deposito stesso, valutando opportunamente le situazioni che possono determinare la necessità di recuperare i rifiuti e le implicazioni sulla sicurezza.

Premesse necessarie ad un eventuale intervento di recupero, indipendentemente dall'orizzonte temporale, sono:

- la tracciabilità e la mappatura dei rifiuti radioattivi nelle unità di smaltimento in modo da conoscere con esattezza la posizione e il contenuto radioattivo di ogni manufatto;
- il controllo del sistema di isolamento del deposito mediante un sistema di monitoraggio, diretto o indiretto, in grado di rilevare tempestivamente l'insorgenza di qualunque situazione anomala di comportamento strutturale e di tenuta dell'opera e della formazione geologica circostante;
- la disponibilità di adeguate strutture di deposito di riserva;
- la garanzia che l'eventuale intervento di recupero non comprometta il rispetto dei requisiti di sicurezza e radioprotezione.

L'impiego di moduli di deposito, contenitori modulari con adeguate caratteristiche di resistenza meccanica, chimica e radiologica, è la soluzione ritenuta più idonea al fine di consentire la recuperabilità dei rifiuti.

5.3 Modulo di deposito

I moduli sono componenti del deposito definitivo progettati e qualificati per assicurare la recuperabilità dei rifiuti radioattivi, oltre che per costituire una ulteriore barriera per l'isolamento dei radionuclidi.
Le caratteristiche principali del modulo rispondono pertanto a criteri generali di:

- ricerca del minor volume complessivo di deposito, tenuto conto delle diverse tipologie di contenitori e/o materiali radioattivi da sistemare all'interno di ciascun modulo, nonché delle modalità di disposizione all'interno del modulo stesso;
- durabilità, intesa come capacità di mantenimento delle funzioni richieste, sia di tipo strutturale sia radiologico, per l'intero arco temporale entro il quale è prevista l'applicazione del criterio di recuperabilità;
- confinamento dei rifiuti radioattivi (ulteriore barriera ingegneristica) derivante dalla qualità dei materiali impiegati;
- resistenza meccanica adeguata ai carichi di progetto, normali e incidentali;
- movimentazione e sollevamento;
- trasportabilità, in accordo ai requisiti di cui alla normativa IAEA "Regulations for the Safe Transport of the Radioactive Materials".

5.4 Il modulo di deposito di riferimento

Ai fini del presente studio, è stato preso come modulo di riferimento il contenitore CBF-K prodotto dalla Società francese Sogefibre.
Tale contenitore, la cui dettagliata descrizione è riportata in Appendice 2, presenta le seguenti principali caratteristiche:

- dimensioni esterne : 1,7 x 1,7 x 1,7 m (5 m^3)
- dimensioni interne : 1,45 x 1,45 x 1,45 (3 m^3)
- spessore minimo delle pareti : 10 cm
- peso a vuoto : 4,3 t
- materiale : cemento rinforzato con fibre metalliche

Questo contenitore è stato qualificato dalle competenti autorità francesi in termini di garanzia di contenimento dei radionuclidi e di resistenza meccanica per almeno 300 anni, ed ha ottenuto la certificazione al trasporto di materiali radioattivi secondo la regolamentazione IAEA (IP-2).
Un contenitore di simili caratteristiche del tipo "Multi Use Container" ha ottenuto la licenza da parte della Nuclear Reguylatory Commission (NRC) degli Stati Uniti come "High Integrity Container".

5.5 Bibliografia

1. IAEA – TECDOC 1187 – Retrievability of high level waste and spent nuclear fuels –IAEA, Vienna, 2000
2. Commission Project Report EUR 19145 EN "Concerted Action on the Retrievability of Long Lived Radioactive Waste in Deep Underground Repositories", 2000
3. NEA/OECD - Reversibility and Retrievability in Disposal of Radioactive Waste: Reflections at the International Level – Paris, 2001.
4. TNO-NITG Information (December 2001) : Retrievable disposal of radioactive waste in the Netherlands

6 INVENTARIO DEI RIFIUTI RADIOATTIVI DI II CATEGORIA

6.1 Premessa

La Guida Tecnica n. 26 definisce come rifiuti di II categoria i rifiuti a bassa e media attività che contengono essenzialmente radionuclidi con tempo di dimezzamento uguale o inferiore a 30 anni, e una quantità assai limitata di radionuclidi a lunga vita, così da raggiungere, nell'arco di alcune centinaia di anni, concentrazioni di radioattività paragonabili al fondo naturale. In particolare, perché un rifiuto possa essere considerato di II categoria, la concentrazione di radioattività, a seguito dei processi di trattamento e condizionamento, non deve superare, all'atto dello smaltimento, i valori indicati nella tabella 6.1 (Tab. 1 GT n. 26).

L'inventario dei rifiuti radioattivi di II categoria presenti sul territorio nazionale e da conferire al deposito definitivo comprende:

- i rifiuti radioattivi già prodotti, che sono in prevalenza stoccati negli impianti di origine e in gran parte ancora da condizionare;
- i rifiuti radioattivi che verranno prodotti a seguito dello smantellamento degli impianti nucleari;
- i rifiuti radioattivi che continueranno ad essere prodotti in futuro a causa dell'uso dei radioisotopi in campo industriale, ospedaliero e nella ricerca.

Di tali rifiuti, come già detto, occorre conoscere sia il volume complessivo, da ricavare attraverso la stima dei manufatti che si ottengono a valle dei relativi processi di trattamento e condizionamento, sia il contenuto radiologico, in termini di quantità di radioattività totale e di quantità di radioattività attribuita ai singoli radionuclidi più rappresentativi e/o più significativi ai fini delle valutazioni di sicurezza a lungo termine (tabella 6.2).

Per la definizione dell'inventario volumetrico e radiologico sono stati presi a riferimento:

- per le centrali di potenza SOGIN: i lavori svolti presso la SOGIN dall'Unità Trattamento Rifiuti, riassunti nel documento "Inventario dei materiali provenienti dalle centrali nucleari della SOGIN e destinati al deposito nazionale per i rifiuti radioattivi" (aprile 2003);
- per gli impianti di ricerca del ciclo del combustibile ENEA e per le altre installazioni nucleari (CCR di Ispra, Nucleco, Fiat Avio, CISAM e FN): i lavori effettuati dalla Task Force Sito dell'ENEA, riassunti nel documento "Inventario nazionale dei rifiuti radioattivi - 2000 - 3ª edizione", e i Project Reports N. 01-25, 01-29, 01-30, 01-33 e 01-38 realizzati dalla NAGRA[11] nel 2001 per conto della stessa Task Force ENEA.

Si riporta qui di seguito una sintesi dei criteri e delle procedure adottati per la definizione dei predetti inventari.

6.2 Metodologia di stima dell'inventario dei rifiuti di II categoria

Per quanto riguarda la stima del volume dei rifiuti radioattivi di II categoria esistenti, essa è stata condotta con riferimento alle diverse tipologie:

- per quelli già condizionati, sono stati acquisiti i dati relativi al numero e al volume dei singoli manufatti; essendo stati condizionati in passato in assenza della definizione di

[11] La NAGRA è l'Agenzia Nazionale Svizzera preposta allo smaltimento dei rifiuti radioattivi.

contenitori standard, ciò determina una maggiore eterogeneità nelle tipologie di manufatti che si prevede arriveranno al deposito.
– per quelli ancora da condizionare, si è stimato il quantitativo di manufatti sulla base dei più idonei processi di condizionamento e sulla base dell'utilizzo di contenitori standard.

La stima della quantità di rifiuti prodotti dalla disattivazione delle installazioni nucleari è stata ricavata:

– sulla base delle valutazioni del possibile contenuto di radionuclidi, ricavate sia dalle notizie storiche disponibili per ciascun impianto, sia dall'utilizzo di opportuni codici di calcolo, sia, ove esistenti, da misure direttamente effettuate su componenti e parti dell'impianto;
– sulla base dell'assunzione di limiti di demarcazione conservativi tra materiale classificabile come "rifiuto radioattivo" e materiale rilasciabile o riutilizzabile ("clearance levels")[12];
– sulla base della previsione di applicazione, per il materiale risultante classificabile come "rifiuto radioattivo", dei più opportuni processi di condizionamento e dell'utilizzo dei più idonei contenitori standard.

La stima dei rifiuti che continueranno ad essere prodotti da attività di ricerca e da impieghi ospedalieri o industriali è stata effettuata prendendo a riferimento la media della produzione nazionale di tali rifiuti negli ultimi anni.
In merito al contenuto radiologico dei rifiuti, si è operato come segue:

– Per i <u>rifiuti radioattivi esistenti</u>, sono stati utilizzati, come fonte primaria, i dati di attività totale e quelli relativi ai radionuclidi di facile rilevabilità (tipicamente Cs-137 e Co-60), utilizzando questi ultimi come riferimento per ricavare, quando non disponibili, i dati relativi ai radionuclidi di più specifico interesse, tramite opportuni fattori di correlazione ricavati dalla letteratura corrente e/o dai risultati di prove distruttive su campioni rappresentativi[13].

– Per i <u>rifiuti radioattivi che deriveranno dalla disattivazione degli impianti</u>, il contenuto di radionuclidi, è stato ricavato sia dalle notizie storiche disponibili per ciascun impianto, sia dall'utilizzo di opportuni codici di calcolo, sia, ove esistenti, da misure direttamente effettuate su componenti e parti dell'impianto; anche in questo caso, per ottenere informazioni sulla concentrazione di radioattività dei radionuclidi di più specifico interesse di cui mancavano informazioni di tipo diretto, si è applicato il metodo dei fattori di correlazione;

– Per i <u>rifiuti radioattivi di produzione futura</u> da attività di ricerca e per uso industriale o ospedaliero si è preso come riferimento la tipologia e la concentrazione di radioattività media dell'attuale produzione.

De sottolineare infine che nelle valutazioni dei rifiuti radioattivi attualmente immagazzinati nei vari impianti si è fatto particolare riferimento al sistema informativo APAT relativo all' "Inventario nazionale dei rifiuti radioattivi".

I dati degli inventari presi a riferimento, non sempre tra loro coerenti e spesso incompleti, sono stati sottoposti a revisione critica, anche tenendo conto dei più recenti aggiornamenti disponibili, curando in particolare:

[12] 1 Bq/g per gli impianti SOGIN; 0,37 Bq/g per gli impianti ENEA; 0,04 Bq/g per l'impianto FN.

[13] I "fattori di correlazione" sono rapporti tra i radionuclidi non gamma-emettitori ed i gamma-emettitori di facile misura (ad esempio: $^{59}Ni/^{60}Co$, $^{90}Sr/^{137}Cs$) determinati per ciascun impianto o zona di impianto sulla base di dati di letteratura, nonché sulla base di valutazioni e misure su campioni dei materiali in esame.

- sulla base della conoscenza dei processi avvenuti all'interno degli impianti, di escludere a priori la presenza di determinati radionuclidi;
- di razionalizzare l'utilizzazione dei "fattori di correlazione" (detti anche "scaling factors") in funzione dell'effettivo andamento dei processi (ad esempio, uno scaling factor applicabile al combustibile tal quale non lo è più se il combustibile ha subito trasformazioni chimiche, come nel caso del riprocessamento);
- di limitare rigorosamente l'inventario ai soli rifiuti di II categoria, escludendo quelli più direttamente riconducibili alla III categoria (ad esempio, i rifiuti cementati a più elevata radioattività dell'Impianto ITREC).

A seguito della suddetta revisione critica si sono ricavati gli inventari volumetrico e radiometrico qui esposti.

6.3 Inventario dei rifiuti di II categoria

L'inventario volumetrico totale dei rifiuti di II categoria esistenti in Italia è riportato nella tabella 6.3 per le diverse installazioni nucleari. Il volume totale dei manufatti condizionati da conferire al deposito risulta pari a circa 52.000 m^3.

L'inventario radiometrico totale dei rifiuti di II categoria esistenti in Italia è riportato nella tabella 6.4, suddiviso per radionuclidi di interesse e per impianti di provenienza.

La mancata indicazione della concentrazione di alcuni singoli radionuclidi nei vari impianti è dovuta sia all'esclusione della loro presenza (come ad esempio per FN), sia alla difficoltà di ottenere dati misurabili strumentalmente o deducibili con metodi indiretti (codici di calcolo, fattori di correlazione). Peraltro, in questo caso, l'eventuale contributo radiologico dei radionuclidi di cui manca la stima è da ritenersi nettamente inferiore a quello dei radionuclidi principali, e pertanto l'inventario totale può considerarsi egualmente rappresentativo in termini di radioattività totale.
L'attività totale - in termini di rifiuti di II categoria presenti e futuri - da conferire al deposito definitivo risulta pari a circa 300 TBq (circa 8.000 Ci), costituita essenzialmente dai tipici prodotti di attivazione delle centrali nucleari (Fe-55, Co-60, Ni-63) e dai tipici prodotti di fissione (Sr-90, Cs-137) degli impianti del ciclo del combustibile.

La tipologia di deposito geologico profondo consente di collocare in esso, nella sezione dedicata alla II categoria, anche particolari tipologie di rifiuti i cui radionuclidi costituenti, pur a radiotossicità relativamente bassa (tabella 6.2), eccedono i limiti della II categoria, come ad esempio il Fe-55, il Ni-59, il Ni-63, il C-14, il trizio. È questo il caso, a titolo esemplificativo, di particolari tipi di rifiuti costituiti da metalli attivati prodotti dalle centrali nucleari e della grafite della centrale di Latina.

Includendo tali particolari tipologie di rifiuti, il volume complessivo da collocare nella sezione dedicata alla II categoria sale a circa 57.000 m^3 con radioattività totale di circa 28.000 Ci corrispondenti a $1{,}03 \times 10^6$ GBq.

A scopo indicativo vengono infine presentati due diagrammi relativi ai contributi dei singoli impianti per quanto riguarda

- il volume di manufatti che verranno conferiti al deposito (figura 6.1);
- la radioattività conferita al deposito (figura 6.2).

Dall'esame dei diagrammi si evidenzia che le centrali SOGIN contribuiscono per circa il 50% al volume totale di manufatti e per circa il 45% al totale dell'attività conferita al deposito. Tra le

centrali si evidenzia come la sola centrale di Latina contribuisca per circa il 25% in termini di volume di manufatti (questo perché per Latina i previsti processi di condizionamento ipotizzati non permettono una sostanziale riduzione di volume come invece è atteso dai i processi ipotizzati per le altre centrali).
In termini di attività si nota una sostanziale equivalenza del contributo delle centrali di Latina, Trino e Garigliano e degli impianti di riprocessamento di Saluggia e Trisaia (valori tra l'12 e il 15%) mentre al Centro di Ispra viene attribuito un contributo pari a un quinto dell'attività totale. I valori assai più ridotti di altri importanti impianti (ad esempio, la centrale di Caorso e l'Impianto Plutonio di Casaccia) si giustificano con una preponderante attribuzione della radioattività ai rifiuti di III categoria.

Ai fini della valutazione dei volumi finali dei materiali e dei manufatti da conferire al deposito definitivo, occorre tenere presente che sussistono tuttora significativi elementi di incertezza, specialmente nei riguardi dei rifiuti provenienti dalla disattivazione degli impianti.
L'effettivo quantitativo di tali rifiuti i dipenderà infatti non soltanto dai processi di condizionamento che verranno messi in atto, o dal volume dei contenitori impiegati, ma anche e soprattutto dagli effettivi livelli di contaminazione che verranno riscontrati e dai processi di decontaminazione più o meno spinta cui verranno sottoposti i sistemi, i componenti e gli edifici prima e/o dopo il loro smantellamento.
Altro fattore determinante sarà l'effettivo quantitativo di materiale solido che sarà possibile rilasciare come rifiuto convenzionale (e quindi non considerato rifiuto radioattivo, previo controllo radioprotezionistico) in base ai limiti di rilascio ("clearance levels") definiti dalle autorità competenti.
Con riferimento al possibile rilascio, un ulteriore parametro che potrà influire sul reale volume di rifiuti è la concreta possibilità che gli edifici in cui erano alloggiati gli impianti, anziché essere anch'essi demoliti, possano essere decontaminati e quindi riutilizzati destinandoli ad altre attività di tipo convenzionale. Ciò, ovviamente, previa totale rimozione del loro contenuto di radioattività, certificata mediante opportune procedure di indagine approvate dalle autorità di sicurezza,
In ogni caso, le valutazioni contenute nel presente inventario rappresentano quanto di più accurato possibile all'attuale stato delle conoscenze. In base ai parametri di riferimento adottati, esse sono da considerarsi comunque conservative.
Analoghe considerazioni vanno riferite all'inventario radiometrico, anch'esso da ritenersi come quanto di più accurato possibile all'attuale stato delle conoscenze, ma suscettibile di essere ulteriormente raffinato in termini sia di concentrazioni di singoli radionuclidi sia di radioattività totale finale. Le azioni attualmente in corso nei vari impianti finalizzate ad una più puntuale caratterizzazione radiologica degli stessi, ricorrendo maggiormente a misurazioni dirette, anche allo scopo di affinare i metodi indiretti (codici di calcolo, fattori di correlazione, ecc.), potranno produrre in futuro tabelle di inventario più complete e accurate della attuale tabella 6.4.

Al fine di completare il quadro dei rifiuti radioattivi italiani sembra opportuno ricordare che il previsto rientro in Italia dei rifiuti di II e III categoria derivanti dal riprocessamento del combustibile inviato dalle centrali ex ENEL all'impianto di Sellafield in base al "Service Agreement" con la BNFL (vedasi tabella 6.5) potrebbe porre alcune ulteriori problematiche di cui si dovrà tenere conto.
Ai fini del presente studio, particolare interesse riveste il possibile rientro dei rifiuti della categoria SLLR (Solid Low Level Residues, vedasi tabella 6.5), in quanto assimilabili alla II categoria.
Peraltro, è opportuno segnalare che sono in corso trattative tra SOGIN e BNFL finalizzate al ritorno in Italia dei soli rifiuti ad alta attività vetrificati, includendo in essi la quota-parte (in termini di "equivalenza radiotossicologica") relativa ai rifiuti cementati di media attività (ILR, Intermediate Level Residues, riconducibili alla III categoria) e ai rifiuti cementati di bassa attività (SLLR, riconducibili, come già detto, alla II categoria). Nel caso di mancato accordo sulla "sostituzione", i residui a bassa attività dovranno trovare collocazione nel deposito definitivo, tenendo presente che le caratteristiche dei contenitori sono diverse da quelle previste per i moduli.

6.4 Tabelle e figure

Tabella 6.1 - Limiti di concentrazione per i rifiuti radioattivi di II categoria condizionati ai fini dello smaltimento.

Radionuclidi	Concentrazione
α emettitori $t_{½}$ > 5 anni	(*) 370 Bq/g (10 nCi/g)
β / γ emettitori $t_{½}$ > 100 anni	(*) 370 Bq/g (10 nCi/g)
β / γ emettitori $t_{½}$ > 100 anni in metalli attivati	3.7 kBq/g (100 nCi/g)
β / γ emettitori 5 < $t_{½}$ ≤ 100	37 kBq/g (1 µCi/g)
^{137}Cs e ^{90}Sr	3.7 MBq/g (100 µCi/g)
^{60}Co	37 MBq/g (1 mCi/g)
^{3}H	1.85 MBq/g (50 µCi/g)
^{241}Pu	13 kBq/g (350 nCi/g)
^{242}Cm	74 kBq/g (2 µCi/g)
Radionuclidi $t_{½}$ ≤ 5 anni	37 MBq/g (1 mCi/g)

(*) I valori sono da intendersi come valori medi riferiti alla totalità dei rifiuti contenuti nel deposito di smaltimento, tenendo presente che il valore limite per ciascun manufatto non può superare 3.7 kBq/g (100 nCi/g).

Tabella 6.2 - Radionuclidi significativi ai fini delle valutazioni di sicurezza per il deposito definitivo.

Radionuclide	Simbolo	Tempo di dimezzamento (anni)	Tipo di emissione	Coeff. di dose efficace (Sv/Bq) (*)
Trizio	H3	12,3	Beta puro	1,8 E-11
Carbonio-14	C14	5,73 E+3	Beta puro	5,8 E-10
Cloro-36	Cl36	3,01 E+5	Beta puro	9,3 E-10
Calcio-41	Ca41	1,03 E+5	EC, X	1,9 E-10
Ferro –55	Fe55	2,7	EC, X	3,3 E-10
Cobalto-60	Co60	5,27	Beta-gamma	3,4 E-9
Nichel-59	Ni59	7,5 E+4	EC	6,3 E-11
Nichel –63	Ni63	96	Beta puro	1,5 E-10
Stronzio – 90	Sr90	29,1	Beta puro	2,8 E-8
Niobio-94	Nb94	2,03 E+4	Beta-gamma	1,7 E-9
Zirconio-93	Zr93	1,5 E+6	Beta puro	1,1 E-9
Molibdeno-93	Mo93	3,5 E+3	EC	3,1 E-9
Tecnezio 99	Tc99	2,1 E+5	Beta puro	6,4 E-10
Argento 108m	Ag108m	1,3 E+2	EC	2,3 E-9
Iodio-129	I 129	1,57 E+7	Beta puro	1,1 E-7
Cesio –137	Cs137	30	Beta-gamma	1,3 E-8
Samario-151	Sm151	90	Beta-gamma	9,8 E-11
Europio – 152	Eu152	13,3	Beta-gamma	1,4 E-9
Torio-232	Th232	1,4 E+10	alfa	2,3 E-7
Uranio-233	U233	1,6 E+5	alfa	5,1 E-8
Uranio-234	U234	2,44 E+5	alfa	4,9 E-8
Uranio – 235	U235	7,04 E+8	alfa	4,7 E-8
Uranio – 238	U238	4,47 E+9	alfa	4,5 E-8
Nettunio –237	Np237	2,14 E+6	alfa	1,1 E-7
Plutonio-238	Pu238	87,7	alfa	2,3 E-7
Plutonio – 239	Pu239	2,41 E+4	alfa	2,5 E-7
Plutonio-240	Pu240	6,54 E+3	alfa	2,5 E-7
Plutonio-241	Pu241	14,4	Beta puro	4,8 E-9
Americio – 241	Am241	432	alfa	2,0 E-7

(*) Coefficienti di dose efficace impegnata (Sv) per unità di introduzione per ingestione (Bq) per individui della popolazione (Tabella IV.4 del D.L.vo 241/00).

Tabella 6.3 - Inventario volumetrico e radiometrico totale dei rifiuti di II categoria da conferire al deposito.

	Centrali di potenza (SOGIN)				Impianti ricerca ciclo comb (ENEA)			Altri					Totali
Tipologia di manufatti	Trino	Caorso	Latina	Garigliano	Saluggia	Trisaia	Casaccia	Nucleco	Ispra	FN	CISAM	Fiat AVIO	
Volume manuf (m^3)	3348	4121	12665	4107	3661	4312	3316	5482	9143	460	573	534	
	24.240				11.289			16.193					51.722
Attività (GBq)	3,3E+04	8,6E+03	3,8E+04	4,1E+04	4,8E+04	3,6E+04	8,6E+02	3,4E+03	5,0E+04	2,6E+01	6,8E+03	3,3E+02	
	1,2E+05				8,5E+04			6,0E+04					2,65E+5
Attività (Ci)	883	232	1.036	1.101	1.291	971	23	92	1.350	1	183	9	
	3.252				2.285			1.635					7.172

Tabella 6.4 - Inventario radiometrico totale dei rifiuti di II categoria da conferire al deposito.

	Attività totale (GBq)												
Radionuclide	**Trino**	**Caorso**	**Latina**	**Garigliano**	**Saluggia**	**Trisaia**	**Casaccia**	**Nucleco**	**Ispra**	**FN**	**CISAM**	**Fiat Avio**	**Totale**
H3	5.00E+01	2.80E+01	1.32E+03	4.39E+02		7.58E+00	1.53E+01	2.75E+03	2.52E+01		6.45E+03		**1.11E+04**
C14	1.00E-01	3.97E-02	8.65E+00	8.91E+01		5.11E+00	2.84E+00	4.05E+02					**5.11E+02**
Cl36	2.00E-02	4.35E-04											**2.04E-02**
Ca41		3.51E-02	8.62E+00	1.75E+01									**2.62E+01**
Fe55	8.40E+03	5.50E+02	3.60E+02		1.19E-02	3.75E-04					3.00E-02		**9.31E+03**
Co60	6.60E+03	3.97E+03	9.10E+02	1.11E+03	3.55E+00	1.51E+01	3.48E+01	1.17E+01	5.77E+03		3.25E+02	1.31E+01	**1.88E+04**
Ni59	3.60E+01	6.87E+01	3.00E-01	6.24E+01	7.81E-03	3.10E-06							**1.67E+02**
Ni63	3.50E+03	9.81E+02	2.50E+02	1.18E+04	1.06E+00	1.89E-02					1.40E+00		**1.66E+04**
Sr90	1.28E+01	2.41E+01	4.65E+02	1.38E+01	8.63E+03	9.53E+03		1.30E-04			1.34E+00	7.85E+01	**1.88E+04**
Y90	1.28E+01	2.41E+01	4.65E+02	1.38E+01	8.63E+03	9.53E+03					1.34E+00	7.85E+01	**1.88E+04**
Zr93					7.66E-01	4.12E-02						4.58E-03	**8.12E-01**
Nb94	2.00E-01	1.63E-02	3.00E-02										**2.46E-01**
Mo93	2.00E+00	1.09E-01				1.60E-07							**2.11E+00**
Tc99					3.24E+00	2.13E+00					4.40E-04	3.01E-02	**5.40E+00**
Ag108m					3.60E-04	1.00E-06							**3.61E-04**
I129						4.67E-05							**4.67E-05**
Cs137	7.22E+03	1.50E+03	1.75E+04	1.39E+04	1.54E+04	8.61E+03	3.22E+02	1.07E+02	2.32E+04		1.34E+00	8.21E+01	**8.79E+04**
Ba137m	6.83E+03	1.42E+03	1.66E+04	1.31E+04	1.45E+04	8.13E+03	3.03E+02	1.01E+02	2.09E+04		1.23E+00	7.72E+01	**8.20E+04**
Sm151	4.20E+00	8.71E-01	8.00E-01	2.15E+00	2.70E+02	1.45E+01					4.13E-02	2.55E+00	**2.95E+02**
Eu152	1.28E+00	1.47E+00	8.73E+01	1.18E+02	4.13E+00	6.84E-01	1.02E-01	9.78E-02			3.60E-04	2.41E-02	**2.13E+02**
Th232						8.13E-02	1.10E-01	9.90E-04					**1.92E-01**
U233						2.48E+01							**2.48E+01**
U234					3.07E-01	3.29E-01	8.47E-01			1.20E+01			**1.35E+01**
U235			2.00E-02		2.09E-03	5.69E-02	1.27E-01	3.70E-04		1.60E+00			**1.81E+00**
U238			4.20E-02		3.76E-01	8.99E-05	1.04E+00	1.45E+00	3.32E+01	1.20E+01	3.60E+00		**5.17E+01**
Np237					3.07E-01	3.90E-02							**3.46E-01**
Pu238	4.43E-01	8.30E-02	1.15E+01		3.54E+00	1.77E+01	1.39E+00				4.20E-04	2.89E-02	**3.47E+01**
Pu239*	1.17E-02	9.19E-03	2.38E+01		1.98E+00	2.27E+00	1.70E+02		3.36E+00			1.05E-02	**2.02E+02**
Pu240					3.15E+00	7.48E-01						1.54E-03	**3.90E+00**
Pu241	2.62E-01	8.85E-01	3.26E+02		9.12E+01	3.10E+01	1.75E-01					8.93E-03	**4.49E+02**
Am241	8.36E-01	1.80E-02	4.21E+01		2.25E+02	2.25E+00	5.87E+00	3.06E+01				1.00E-03	**3.07E+02**
Totale (GBq)	**3,3E+04**	**8,6E+03**	**3,8E+04**	**4,1E+04**	**4,8E+04**	**3,6E+04**	**8,6E+02**	**3,4E+03**	**5,0E+04**	**2,6E+01**	**6,8E+03**	**3,3E+02**	**2,65E+05**
Totale (Ci)	**883**	**232**	**1.036**	**1.101**	**1291**	**971**	**23**	**92**	**1.350**	**1**	**183**	**9**	**7.172**
	3.252				**2.285**			**1.635**					

(*) Negli impianti SOGIN il dato si riferisce al Pu239+Pu240

Tabella 6.5 - Caratteristiche dei rifiuti radioattivi condizionati che dovrebbero tornare in Italia dopo il riprocessamento negli impianti BNFL.

Centrale	Combustibile riprocessato tHM	HLR		ILR		SLLR	
		m^3	GBq	m^3	GBq	m^3	GBq
Garigliano	53,7	2,7	3,18E+08	35,8	4,66E+06	328,5	37
Trino	51,7	5,1	5,97E+08	56,0	7,06E+06	330,0	37
Latina	573,2	8,5	5,35E+08	772,8	1,03E+08	4386,0	491
Totale	678,6	16,3	1,45E+09	864,6	1,15E+08	5044,5	565

Legenda: tHM: tonnellate “heavy metal” (biossido di uranio e plutonio)
HLR: rifiuti ad alta attività vetrosi (III categoria, ANPA Guida Tecnica N. 26)
ILR: rifiuti ad media attività cementati (III categoria, ANPA Guida Tecnica N. 26)
SLLR: rifiuti a bassa attività cementati (II categoria, ANPA Guida Tecnica N. 26)

Figura 6.1 - Rifiuti di II categoria da conferire al deposito per volume di manufatti.

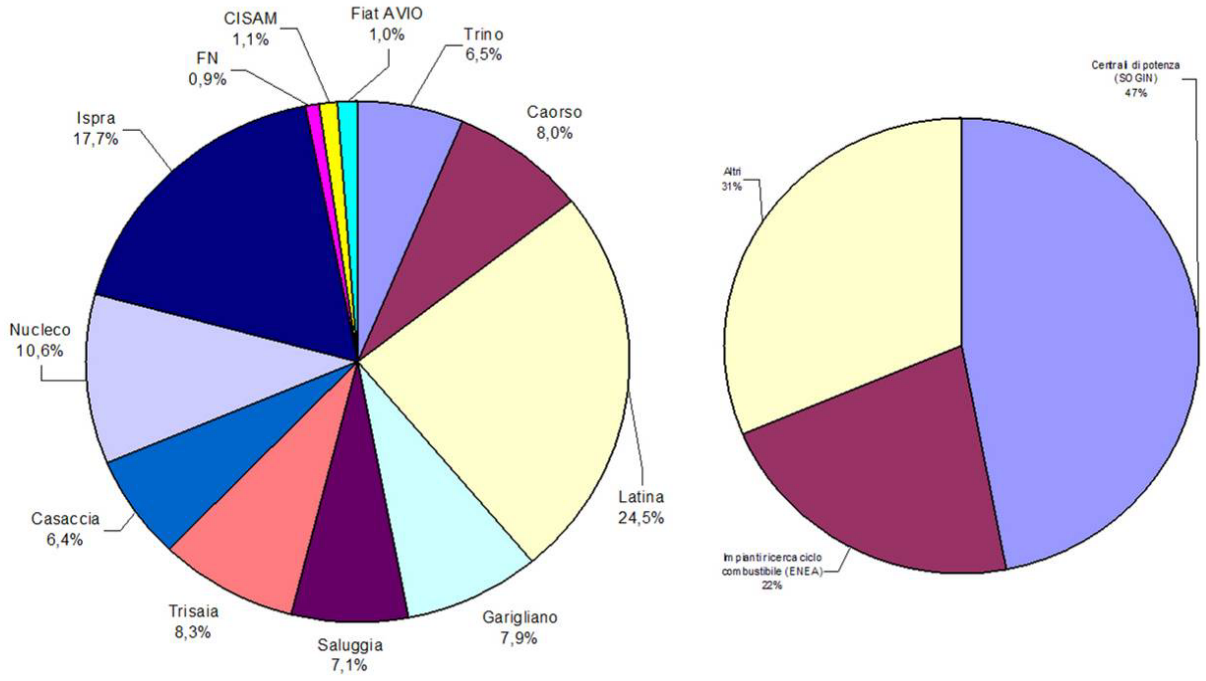
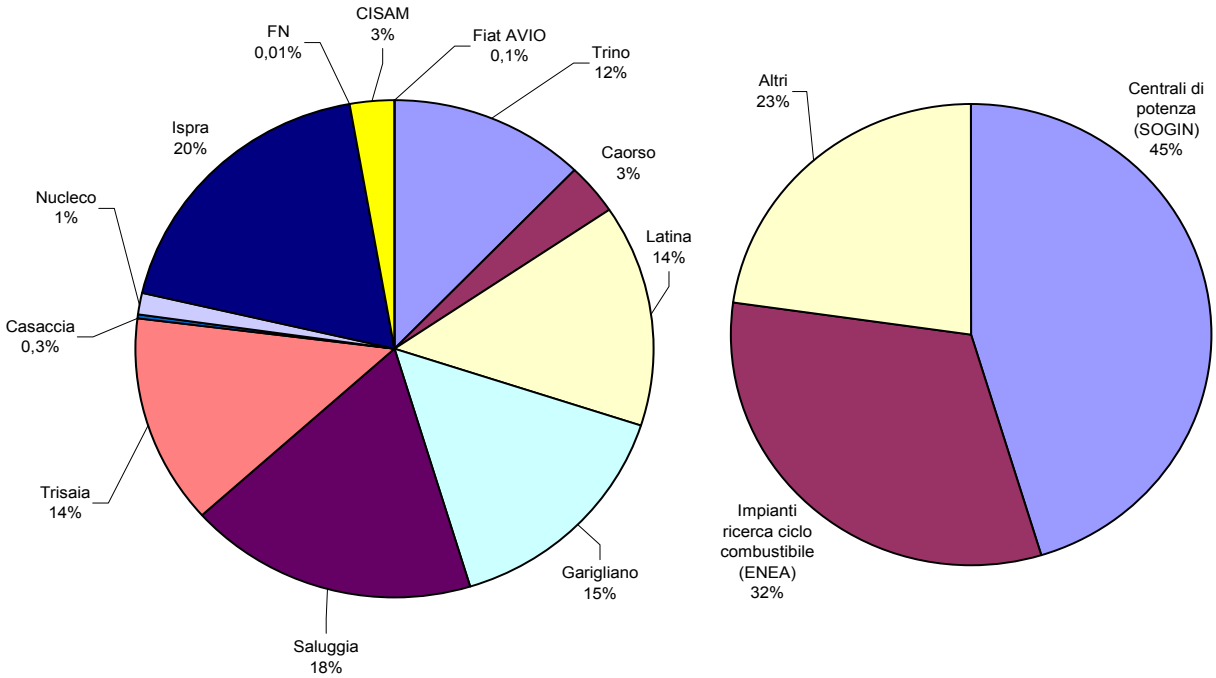


Figura 6.2 - Attività dei rifiuti di II categoria da conferire al deposito.



7 INVENTARIO DEI RIFIUTI RADIOATTIVI DI III CATEGORIA

7.1 Premessa

La Guida Tecnica n. 26 definisce come rifiuti di III categoria i rifiuti ad alta attività e/o quelli contenenti quantità significative di radionuclidi a lunga vita, la cui concentrazione di radioattività, a seguito dei processi di trattamento e condizionamento, supera, all'atto dello smaltimento, i valori indicati nella Tabella 1 della Guida Tecnica n. 26 dell'APAT (Tabella 5.1 del presente Studio). Tale categoria può includere anche il combustibile irraggiato, qualora rientri nella definizione di "rifiuti radioattivi" secondo l'art. 4 comma 3 lettera i del D.L.vo 241/00[14].

L'inventario dei rifiuti radioattivi di III categoria da conferire al deposito definitivo comprende, in particolare:

- Il combustibile irraggiato presente sul territorio nazionale e non inviato al riprocessamento;
- Il combustibile irraggiato di proprietà italiana provvisoriamente stoccato all'estero;
- I rifiuti ad alta attività vetrificati che dovranno tornare in Italia a seguito del riprocessamento in Inghilterra (BNFL, Sellafield) del combustibile irraggiato delle centrali nucleari italiane;
- I rifiuti di III categoria derivanti dal passato esercizio degli impianti nucleari italiani;
- I rifiuti di III categoria che saranno prodotti dalle operazioni di decontaminazione e smantellamento degli impianti nucleari.

Vengono inclusi in questo inventario anche le sorgenti radioattive dismesse da ospedali, industrie, centri di ricerca.

7.2 Combustibile irraggiato

La strategia dell'ENEL circa la chiusura del ciclo del combustibile nucleare è stata fino alla fine degli anni '80 quella del riprocessamento.

Questa strategia, seguita all'epoca dalla gran parte degli esercenti d'impianti nucleari nel mondo, era economicamente giustificata dall'elevato valore di mercato dei materiali fissili recuperati (uranio e plutonio).
La moratoria italiana sull'energia nucleare in seguito al referendum del 1987 ed il successivo abbandono dell'opzione nucleare da parte dell'ENEL, assieme alle mutate condizioni del mercato internazionale delle materie fissili (in particolare con riferimento al valore del plutonio), hanno radicalmente modificato le condizioni che avevano portato alla scelta del riprocessamento.

A partire dall'inizio degli anni '90 la strategia ENEL è stata quella di rispettare i contratti già in essere inviando al riprocessamento le quantità di combustibile previste, di non stipularne di nuovi e di immagazzinare temporaneamente sui siti delle centrali, in contenitori a secco, il restante combustibile irraggiato (circa 230 tonnellate d'uranio e plutonio) in attesa di inviarlo al deposito nazionale dei rifiuti radioattivi.

[14] "Rifiuti radioattivi" : qualsiasi materia radioattiva, ancorché contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, di cui non è previsto il riciclo o la riutilizzazione.

Analogamente, gli impianti sperimentali del ciclo del combustibile nucleare (ENEA e CCR Ispra), avendo dovuto sospendere le attività, conservano tuttora in giacenza materiale nucleare irraggiato derivante dalla fase di esercizio degli impianti medesimi.

La situazione attuale del combustibile irraggiato presente in Italia è riportata nella tabella 7.1

A questo inventario di combustibile irraggiato va aggiunta la quota di proprietà SOGIN del combustibile, attualmente stoccata in Francia presso la centrale SUPERPHENIX di Creys-Malville, pari a 121 elementi di combustibile al plutonio (MOX) irraggiati, per un totale di circa 62 T/HM .

Pertanto, l'inventario totale di combustibile irraggiato da inviare al deposito nazionale è quello indicato nella tabella 7.2.

Tutto il combustibile di Garigliano e Latina è stato già rimosso dagli impianti. In particolare:

- Il combustibile di Garigliano è stato trasferito, anni fa, in parte all'impianto di riprocessamento di Sellafield (UK) della BNFL ed in parte nel deposito realizzato nella piscina dell'ex reattore Avogadro Saluggia (Vercelli). Di tale combustibile è previsto l'invio a Sellafield per il riprocessamento, nel quadro di un programma di trasporti avviato il 6 aprile 2003 e di cui è previsto il completamento nel 2005.
- Tutto il combustibile irraggiato proveniente dalla centrale di Latina è stato inviato al riprocessamento (Sellafield, BNFL) perché la sua particolare natura non ne consente lo stoccaggio a lungo termine.

Per il combustibile irraggiato attualmente presente nelle piscine degli impianti di Trino, Caorso e Saluggia (ad eccezione del quantitativo di combustibile del Garigliano da inviare al riprocessamento, come appena detto), in attesa della disponibilità del deposito nazionale validato anche per la III categoria, si procederà allo stoccaggio a secco in apposite strutture da realizzare presso gli attuali siti di deposito temporaneo.
A tal fine, il combustibile verrà sigillato in contenitori schermanti adatti sia allo stoccaggio sia al successivo trasporto al deposito nazionale (cask "dual purpose").

Anche per i combustibili irraggiati presenti nei centri di Ispra, Casaccia e Trisaia è previsto lo stoccaggio a secco in cask dual purpose collocati temporaneamente negli stessi siti.

Per quanto riguarda il combustibile irraggiato Superphénix, si prevede di mantenere lo stoccaggio del combustibile presso l'Impianto di Creys Malville, fino a quando non sarà disponibile in Italia il deposito nazionale; ciò consentirà il trasporto diretto dalla centrale di Creys-Malville al deposito nazionale, evitando di realizzare apposite strutture di stoccaggio intermedio in Italia.

La Tabella 7.3 riassume la situazione del combustibile irraggiato a seguito dello stoccaggio a secco in contenitori "dual purpose".

7.3 Rifiuti ad alta attività vetrificati

Nel passato l'ENEL ha destinato al riprocessamento circa 1628 t di combustibile irraggiato a fronte delle 1864,3 t utilizzate complessivamente nelle quattro centrali nucleari di Latina, Trino, Garigliano e Caorso, pari a circa l'87% del totale.
Tuttavia, l'obbligo di ricevere in ritorno i rifiuti radioattivi prodotti dal riprocessamento riguarda solo i contratti stipulati dopo il 1978, che comprendono circa 573 tonnellate di combustibile Magnox (LATINA) e circa 105 tonnellate di combustibile a ossido di uranio (TRINO,GARIGLIANO)

In tabella 7.4 sono riportate in dettaglio le stime totali dei rifiuti prodotti nel riprocessamento a Sellafield dei combustibili irraggiati, prendendo a riferimento l'opzione attualmente negoziata con BNFL ("waste substitution"), in base alla quale verranno restituiti all'Italia solo rifiuti ad alta attività vetrificati, includendo in tale quota anche quelli che "sostituiscono", in termini di equivalenza del potenziale tossico-radiologico, i rifiuti a media attività cementati e i rifiuti a bassa attività cementati.

A questi, andranno aggiunti ulteriori 100 contenitori di prodotto vetrificato nel caso in cui i rifiuti radioattivi liquidi a più elevata radioattività attualmente stoccati nei serbatoi dell'impianto Eurex di Saluggia saranno solidificati mediante vetrificazione (opzione "CORA").

Anche per i vetri ad alta attività è previsto un periodo di stoccaggio temporaneo a secco in speciali cask dual purpose (del tutto simili a quelli per il combustibile irraggiato), in attesa del trasferimento al deposito unico nazionale.

In Tabella 7.5 è illustrata la situazione di stoccaggio dei vetri nei cask.

7.4 Altri rifiuti di III categoria

Altri rifiuti di III categoria sono quelli, generalmente condizionati in matrice cementizia, prodotti nel corso del passato esercizio degli impianti, e i rifiuti che saranno prodotti nel corso delle operazioni di decontaminazione e smantellamento degli impianti.

Per i dati di inventario relativi a tali rifiuti, trattandosi in massima parte di stime, valgono le stese considerazione riportate a proposito dei rifiuti di II categoria.

La tabella 7.6 fornisce la valutazione più aggiornata, in base ai dati al momento disponibili, dell'inventario volumetrico dei rifiuti di III categoria diversi dal combustibile irraggiato e dai vetri.

I valori riportati in tabella 7.6 sono da considerare come conservativi: in realtà, con una gestione appropriata, in particolar modo dei rifiuti da decommissioning, è ragionevole ritenere che i volumi finali potranno essere considerevolmente inferiori.

7.5 Sorgenti dismesse

La tabella 7.7 fornisce i dati riguardanti le sorgenti radioisotopiche dismesse attualmente in giacenza nei vari siti.

7.6 Conclusioni

La tabella 7.8 raccoglie in un unico quadro riassuntivo l'inventario di tutte le tipologie di rifiuti di III categoria da conferire al deposito unico nazionale.

7.7 Tabelle e figure

Tab. 7.1 - Situazione attuale del combustibile irraggiato presente in Italia.

Centrale di provenienza	Attuale collocazione	Destinazione	Quantità	
			N° elementi	Massa t/hm(*)
Caorso	Caorso	Deposito nazionale	1032	190,4
Trino	Trino	Deposito nazionale	47	14,5
Trino	Saluggia (Avogadro)	Deposito nazionale	49	15,1
Garigliano	Saluggia (Avogadro)	Deposito nazionale	63	12,9
Trino	Saluggia (Eurex)	Deposito nazionale	52	2,02
Elk River (USA)	Rotondella (Trisaia-Itrec)	Deposito Nazionale	64	1,7
Varie	Casaccia Opec	Deposito Nazionale	(spezzoni)	0,12
Varie	CCR Ispra	Deposito Nazionale	(spezzoni)	1,5
Totale			1307	238,24
Garigliano	Avogadro	Riprocessamento	259 (^)	53,5 (^)

(*) T/HM : tonnellate di metalli pesanti (uranio + plutonio)
(^) quantità totale da inviare al riprocessamento, in parte già spedita all'impianto di Sellafield (BNFL)

Tab. 7.2 – Inventario complessivo del combustibile irraggiato da stoccare in Italia.

Quantità	
N° elementi	Massa t/hm(*)
1428	300

Tab. 7.3 - Cask necessari per lo stoccaggio a secco del combustibile

Provenienza	N. elementi	Tipo di cask	N. elementi/cask	N. cask
TRINO	96	X/A17	17	6
GARIGLIANO	63	X/A17	17	4
CAORSO	1032	X/B52	52	20
CREYS MALVILLE	121	K7/K12	7/12	21/36
ELK RIVER	64	TN24	72	1
TRINO CRUCIFORME	52	X/A 17		1-2
GARIGLIANO (Eurex)	barrette	(*)	(*)	(*)
OPEC	spezzoni	TN 24	N.D.	1
ISPRA	spezzoni	ND	N.D:	1
TOTALE GENERALE	1428	-		54/70

(*) Incluso nella voce precedente (TRINO CRUCIFORME)

Tab. 7.4 - Stima dei rifiuti di III Categoria vetrificati

Impianto di vetrificazione	Provenienza combustibile riprocessato	Numero contenitori (*)	Volume totale [m^3]	Radioattività (Bq)
Sellafield (BNFL) Sellafield (BNFL) Sellafield (BNFL)	LATINA TRINO GARIGLIANO	66 (^) 34 (^) 17 (^)	11 6 3	4,5 E+16 (per contenitore)
Totale Sellafield		117	20	5,27 E+18 (totale)
CORA (Saluggia) (^^)	*MTR, CANDU*	*100*	*15*	*5,7 E+13* *(per contenitore)*

(*) contenitori cilindrici in acciaio inox (h.1,4 m; dia. 0,43 m, volume utile: 150 l)
(^) in caso di "waste substitution"
(^^) in caso di scelta dell'opzione "vetrificazione in impianto CORA"

Tabella 7.5 - Stoccaggio dei contenitori dei vetri nei cask.

Origine vetri	N. contenitori	Tipo di cask	N. contenitori/cask	N. cask
LATINA	66	HAW 20-28	28	5
TRINO	34	HAW 20-28	28	
GARIGLIANO	17	HAW 20-28	28	
Totale centrali	117	-	-	5
EUREX	*100*	*TN24*	*21*	*5*
Totale Generale	217			10

Tabella 7.6 - Inventario volumetrico dei rifiuti di III categoria (stime) esclusi il combustibile irraggiato ed i residui di riprocessamento vetrificati.

Provenienza	Volume lordo(*) m^3
Garigliano	70
Latina	750
Latina (grafite)	3300
Caorso	350
Trino	300
Casaccia (Opec, Plutonio, Nucleco)	2100
Saluggia (Eurex)	500
Trisaia (Itrec)	300
Ispra	1200
Altri	150
TOTALE	9020

(*) Il volume lordo include il volume dei rifiuti condizionati in matrice cementizia + il volume del contenitore

Tabella 7.7 - Sorgenti dismesse

Impianti o depositi	Sorgenti - Attività (GBq)
NUCLECO	696.350
ENEA Opec	3.694
CCR Ispra	107.000
CISAM	419.000
Protex	73.750
Sorin	4.920
Altre	266
Totale	1.304.981

Tab. 7.8 - Inventario complessivo dei rifiuti radioattivi di III categoria da conferire al deposito.

Tipo di rifiuto	N. totale cask	Volume totale (m^3)
Combustibile irraggiato	54-70	800 - 1000
Prodotti vetrificati	5 - 10	75 - 150
Prodotti cementati	-	9.000

.

8 METODOLOGIA DI SELEZIONE DI UN SITO PROFONDO IN FORMAZIONE SALINA

8.1 Premessa

La procedura descritta nel seguito è finalizzata alla individuazione di un sito per la realizzazione di un deposito di rifiuti di II Categoria, avente anche caratteristiche favorevoli per ospitare, dopo indagini e qualificazioni, prima un Laboratorio di Ricerca Sotterraneo (LRS) e, successivamente, in caso di esito positivo delle indagini effettuate, di un deposito definitivo per la III Categoria.
L'LRS ha lo scopo di provvedere alla più approfondita comprensione delle caratteristiche idrologiche, termiche, meccaniche, chimiche e biologiche delle formazioni ospitanti il deposito, nonché dei processi relativi al controllo delle prestazioni delle barriere ingegneristiche e naturali del deposito. In aggiunta l'LRS agevola lo sviluppo della tecnologia relativa alla costruzione, esercizio, eventuale recuperabilità, e chiusura del deposito, come pure la dimostrazione agli specialisti e al pubblico della validità della tecnologia adottata e dell'intero concetto di deposito

Dovendo individuare un sito destinato, sia pure in prospettiva, ad ospitare anche i rifiuti di III categoria, incluso il combustibile irraggiato, è evidente che la scelta non può che cadere su formazioni geologiche profonde, in quanto, come da tempo largamente accettato a livello internazionale, esse sono le uniche a poter garantire l'isolamento dei radionuclidi a più lunga vita nei tempi necessari per il loro decadimento a livelli accettabili (tempi dell'ordine di alcune centinaia di migliaia di anni).
Dall'esperienza a livello comunitario e mondiale risulta che le formazioni idonee al deposito dei rifiuti di III categoria sono:

- i sedimenti argillosi;
- i massicci granitici;
- i depositi salini.

I sedimenti argillosi e i massicci granitici, pur in linea di principio adeguati e oggetto di studi e sperimentazioni in diversi paesi, richiedono lunghe e complesse indagini per la caratterizzazione preliminare nella fase di individuazione dei siti idonei. Ciò è dovuto al fatto che:

- le formazioni argillose presentano generalmente intercalazioni, più o meno estese e consistenti, di sabbie e limi che comportano anisotropie, anche rilevanti, della permeabilità e della circolazione dei fluidi;
- i massicci granitici sono interessati da fratture, dovute sia al processo di raffreddamento che all'azione tettonica. La distribuzione nel massiccio roccioso di tali fratture e la loro influenza sui processi della circolazione idrica sotterranea sono difficilmente caratterizzabili.
- I giacimenti salini sono relativamente più semplici da valutare in quanto in essi sono assai più raramente riscontrabili gli aspetti negativi appena evidenziati per le formazioni granitiche o argillose.

Per di più, nel caso italiano, i depositi salini (salgemma del periodo Messiniano - circa 6 milioni di anni) sono generalmente inglobati all'interno di formazioni argillose impermeabili che, nei casi di modesta attività orogenetica (nei tempi geologici), hanno assicurato la loro esistenza isolandoli dall'azione delle acque e dell'erosione.
In altri termini, un deposito di salgemma:

- è un indicatore naturale dell'isolamento della formazione dalle acque superficiali e sotterranee;
- ha una permeabilità particolarmente bassa;

– ha una propensione alla deformazione plastica (creeping) che, per le bassissime velocità di deformazione proprie delle strutture geologiche, porta all'autosigillatura di qualunque frattura si dovesse eventualmente formare;

Alle caratteristiche favorevoli del salgemma si sommano quelle di ottima capacità d'isolamento delle formazioni argillose che, come detto, generalmente inglobano, proteggendoli, i giacimenti salini.
Tali favorevoli caratteristiche delle formazioni argillose vengono dettagliatamente illustrate in Appendice 2.

La formazione di salgemma, per essere idonea al deposito di III categoria, deve essere localizzata in un'area a caratteristiche geodinamiche favorevoli, tali da garantire l'isolamento nel lunghissimo periodo, e avere spessore ed estensione adeguati ad ospitare le gallerie di deposito dei rifiuti radioattivi.

8.2 Principali requisiti per un sito di smaltimento di rifiuti radioattivi in formazioni geologiche profonde

Fermi restando i principi e i criteri di sicurezza precedentemente illustrati nel Capitolo 3, vengono qui definiti i requisiti fondamentali per un sito di smaltimento di rifiuti radioattivi in formazioni geologiche profonde.
A tale scopo, sono stati adottati i requisiti indicati dalla Commissione Europea nel capitolo III.1 "Depositi profondi" del Rapporto EUR 14598 (1992) dal titolo "Evacuazione dei residui radioattivi: criteri raccomandati per un sito di deposito", che qui di seguito si riportano integralmente.

"Stabilità
E' necessario analizzare i rischi di catastrofi naturali che possono modificare notevolmente le condizioni del sito in un futuro prevedibile, dimostrando che la loro probabilità è scarsa.
Il sito deve presentare un elevato livello di stabilità: non devono essere previsti movimenti tettonici (che possono produrre effetti significativi) entro un termine, per esempio, di 10000 anni, in base a valutazioni svolte a livello regionale e a previsioni elaborate a partire dall'analisi di fenomeni verificatisi in passato e dalle tendenze attuali. In generale, il sito deve essere considerato stabile per tutto il tempo indicato dalla valutazione della sicurezza.
La sismicità deve essere debole; la sua soglia limite dipende dalla destinazione e dal sito, ma è necessario che non si prevedano movimenti tettonici d'intensità uguale o superiore al grado 7 della scala Richter (o al grado IX-X della scala Mercalli modificata).
Il sito deve trovarsi abbastanza lontano (ad es. alcune decine di km) da anomalie geotermiche o da fenomeni vulcanici.

Idrogeologia
Siccome l'acqua è il veicolo naturale principale per quanto riguarda il trasporto di radioattività fuori dal deposito, tra le condizioni essenziali figurano un flusso lento delle acque sotterranee e lo adeguate possibilità di diluizione insieme con determinate proprietà di tali acque.
Le caratteristiche idrogeologiche della formazione e le proprietà idrologiche del sito devono essere tali da garantire che le eventuali conseguenze radiologiche sul sito e sulla regione siano trascurabili, tanto in caso di evoluzione normale quanto in caso di evoluzione anomala.
Devono essere considerate di preferenza le formazioni che presentano un elevato grado di omogeneità e di continuità e, più in generale, quelle caratterizzate da strutture sempli-

ci.

Proprietà chimiche e geochimiche
Le proprietà chimiche e geochimiche della roccia ospitante devono essere tali da favorire il contenimento dei radioelementi, qualora vengano rilasciati dal deposito.

Proprietà meccaniche e termiche
Le proprietà fisiche della roccia e l'assetto geologico dovrebbero garantire che il calore emesso dai residui venga dissipato in modo adeguato senza alterare le proprietà di confinamento della formazione e senza riscaldare eccessivamente le acque e i sedimenti soprastanti. Ciò implica che vengano imposti determinati limiti per il carico termico, in funzione di ciascuna opzione.
Le proprietà meccaniche della roccia devono essere tali da garantire la sicurezza del deposito e da assicurare che le camere e i pozzi del deposito possano essere sigillati in modo adeguato.

Profondità e dimensioni della formazione ospitante
Le dimensioni della roccia ospitante dipendono dall'opzione, dai residui da smaltire, dalla capacità del deposito e dall'assetto geologico.
La formazione deve essere abbastanza profonda e ampia da permettere che il deposito sia sufficientemente isolato dalla biosfera. Il deposito deve essere abbastanza profondo da trovarsi al riparo da fenomeni quali l'erosione degli strati superficiali, in particolare nel caso di formazioni sedimentarie.
Il sito e il suo assetto geologico devono essere scelti in modo che lo scavo del deposito non ne comprometta le prestazioni.

Presenza di risorse naturali
La formazione deve trovarsi sufficientemente lontana da depositi di minerali abbastanza rari da essere considerati oggetto di sfruttamento in futuro. In generale, devono essere scelti di preferenza una formazione e un sito per i quali il rischio di intrusione umana è basso.

Va notato che non è necessario che siano soddisfatti tutti questi criteri, in quanto alcuni di essi bastano a garantire un'adeguata protezione. In definitiva, è da una valutazione globale della sicurezza dell'intero sistema che deve risultare la conformità o meno alle norme di radioprotezione".

8.3 Procedura di selezione del sito

Come già detto, dovendo individuare un sito unico nazionale tale da essere destinato non solo al deposito definitivo dei rifiuti di II categoria, ma, sia pure in prospettiva, ad ospitare anche i rifiuti di III categoria, incluso il combustibile irraggiato, è evidente che la scelta non può che cadere su formazioni geologiche profonde.

Il sito risultante da questa selezione dovrà avere, pertanto, proprietà geologiche, idrogeologiche e sismo-tettoniche idonee alla realizzazione di un deposito profondo in giacimento salino dei rifiuti di II Categoria, e le caratteristiche di base d'idoneità atte ad ospitare inizialmente un Laboratorio di Ricerca Sotterraneo (LRS).

Successivamente, dopo approfondite indagini e qualificazioni da effettuare in questo Laboratorio, ed in caso di esito positivo delle stesse, il sito potrà essere sede di un deposito definitivo per rifiuti di III Categoria.

La procedura prevede le tre fasi di azione successive di seguito descritte.

8.3.1 Fase 1: Inventario delle formazioni saline

- Definizione dell'inventario delle formazioni saline presenti sul territorio nazionale sulla base di informazioni e studi effettuati con l'obiettivo di identificare possibili localizzazioni di depositi per rifiuti ad alta attività e/o lunga vita.

8.3.2 Fase 2: Selezione del sito per successivi livelli di esclusione

In questa fase viene valutata, per i siti individuati dall'inventario di cui sopra, la rispondenza ai requisiti fondamentali illustrati nel precedente paragrafo 8.2, mediante l'applicazione dei seguenti tre livelli di esclusione, formulati sulla base dei suddetti requisiti:

- Primo livello d'esclusione: valutazione dei siti dell'inventario rispetto alle caratteristiche morfologiche del giacimento, in relazione alle dimensioni del deposito;

- Secondo livello d'esclusione: valutazione dei requisiti di isolamento dei giacimenti.

- Terzo livello d'esclusione: definizione del quadro evolutivo delle aree dei siti non esclusi dopo i primi due livelli di esclusione, ai fini del mantenimento nel tempo dei requisiti di sicurezza (stabilità geomorfologica, sismotettonica e geodinamica).

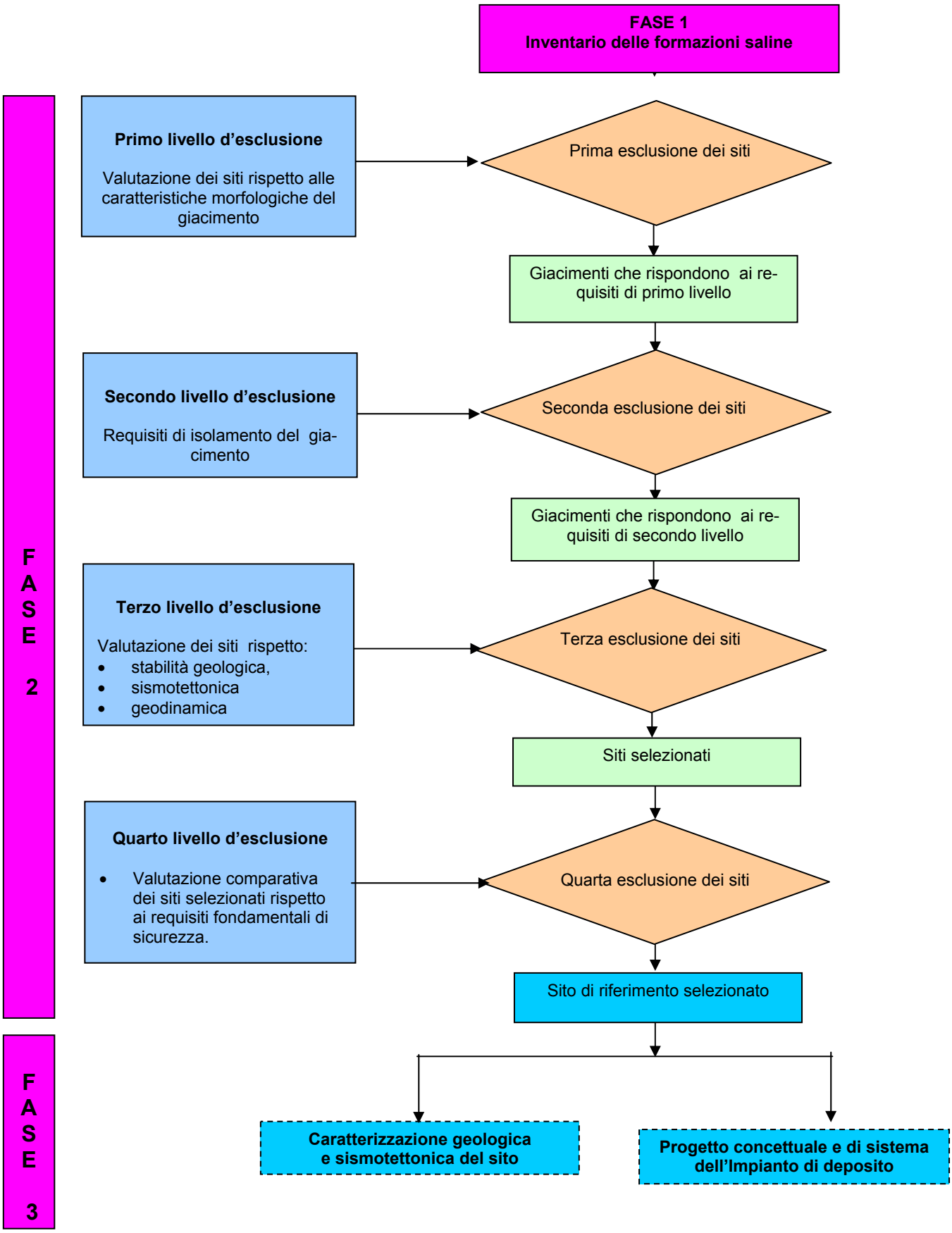
- Quarto livello di esclusione: valutazione comparativa dei siti selezionati rispetto ai requisiti fondamentali di sicurezza.

Dalla selezione di terzo livello sono stati, quindi, identificati un numero ristretto di siti (short list) da sottoporre a comparazione sotto l'aspetto dei requisiti fondamentali di sicurezza e pervenire, nel quarto livello di esclusione, alla scelta di un sito di riferimento sul quale avviare le opportune caratterizzazioni come deposito definitivo di rifiuti di II categoria, prima, e successivamente per un laboratorio di ricerca sotterraneo per lo il deposito definitivo della III categoria.

8.3.3 Fase 3: Caratterizzazione del sito e progetto concettuale del deposito

In questa fase si prevede di effettuare le operazioni di caratterizzazione e validazione del sito di riferimento selezionato.
In parallelo sarà elaborato un progetto concettuale di riferimento che identifichi le soluzioni tecniche per la realizzazione del deposito e che permetta di valutare in maniera probante i costi ed i tempi per la realizzazione dell'opera.
In questa fase saranno anche risolte e validate le scelte fondamentali del progetto, quali la recuperabilità dei rifiuti, le tecnologie per la realizzazione e successiva sigillatura dei pozzi di ingresso (shaft), etc.
Nel caso in cui dalla caratterizzazione del sito dovessero emergere dubbi sulla sua idoneità ad ospitare in via definitiva anche i rifiuti di III categoria, i risultati dello studio dovranno essere sottoposti all'attenzione degli organi decisionali dello Stato per la valutazione di soluzioni alternative.

Fig. 8.1 – Schema della metodologia di selezione del sito.



9 APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA DI SELEZIONE DEL SITO

9.1 FASE 1 - Inventario delle formazioni saline

9.1.1 Catalogo delle formazioni geologiche saline

Nella Fase 1 della procedura per l'individuazione dei depositi profondi in salgemma si è fatto ricorso all'inventario dei depositi salini presenti sul territorio nazionale, a suo tempo predisposto dal Servizio Geologico Nazionale sulla base del contratto CNEN Euratom 022-76-9 WASI, concluso nel Dicembre 1977.

Come indicato nella relazione finale di quello studio, le formazioni saline italiane appartengono al piano superiore del Miocene e non si conoscono giacimenti saliferi in altri livelli geologici.

In Italia, il piano superiore del Miocene è conosciuto anche con il nome di Messiniano, perché i primi elementi di conoscenza del piano geologico studiati e descritti si riferiscono ad affioramenti situati nei pressi di Messina. Ulteriori studi ed indagini, hanno messo in evidenza, però una netta differenziazione tra i lembi del messinese, composti in prevalenza da terreni clastici (psefiti e psammiti spesso in facies continentale), e quelli caratteristici delle serie gessoso-solfifere e salifere che si trovano nella Sicilia centro-meridionale ed in lembi più ridotti in altre regioni italiane con o senza mineralizzazioni.

La successione dei terreni altomiocenici, che comprendono le formazioni saline, si può cosí riassumere (dal basso verso l'alto):

a) *Terreni di letto composti da argille sabbiose o sabbie argillose con intercalazioni sabbiose, appartenenti al Miocene medio o Tortoniano.*

In qualche settore della Sicilia i terreni di letto sono rappresentati da limi e *silts* naftogenici, mentre nella penisola prevalgono le sabbie ed arenarie o molasse con qualche lente o tracce di lignite (Volterra).
Il passaggio dal Miocene medio a quello superiore avviene in concordanza stratigrafica e tettonica.
I terreni di transizione tra i due piani sono più evidenti in Sicilia dove compare pressoché ovunque il livello *tripolaceo* dello spessore variabile da 30 m a 70 m e composto di fitte intercalazioni di sottili strati di farine fossili marno-argillose, con veli di argilla bituminosa, marna variamente argillosa e calcarea.
In Calabria e Basilicata, il termine di passaggio si può identificare nella riduzione delle componenti psefitiche con la comparsa di varve argillo-limose variamente bituminose poco addensate.
In Toscana manca la parte bituminosa, mentre persistono le tracce di lignite diffuse nella matrice argillosa o disposte in veli esili e raramente campionabili con le perforazioni meccaniche.

b) *Terreni di base del Miocene superiore o Sarmaziano*

In Sicilia ed in Calabria si hanno i calcari spugnosi o vacuolari, (sede della mineralizzazione solfifera) sostituiti lateralmente, dalle marne o argille marnose oppure dalle brecce calcaree. Le marne si riscontrano verso le depressioni paleogeografiche, mentre le brecce calcaree si trovano in corrispondenza delle dorsali sub-emerse all'inizio del Miocene superiore. Nei rimanenti comprensori la base del Miocene superiore e' rappresentata da argille con tracce di marne scure, granuli di pirite, indizi di torba o lignite e scarsa microfauna nana.

c) *Gessi, argille, anidride e sale.*

La successione di questi terreni e la loro posizione si differenzia nei diversi bacini. Tuttavia si ha in genere la seguente successione verticale, dal basso verso l'alto:

c1) argille variamente bituminose, con cristalli di gesso e con straterelli di gesso o anidrite intercalati;
c2) alternanze di straterelli di argille e di sali di diversa composizione chimica e mineralogica;
c3) prevalenza di sali composti con magnesio e potassio con alternanze argillose;
c4) ammassi salini con percentuali di potassio più significative nella parte inferiore, mentre nella parte alta si riscontrano più frequenti bancate imponenti di salgemma quasi puro. I corpi salini hanno subito intense deformazioni tettoniche in funzione della elevata plasticità del sale che si comporta meccanicamente come una argilla compatta. La posizione, e le percentuali qualitative e quantitative dei sali potassici varia secondo fasce aventi andamento ENE-WSW e sono legate alla paleogeografia salina ed alle diverse componenti delle spinte tettoniche. Lo spessore del corpo salino varia da zero fino ad un migliaio di metri;
c5) subito al tetto del sale si hanno argille scure con anidrite e scarsi gessi, man mano che si sale, verso la chiusura del ciclo sedimentario, aumentano le *componenti* gessose mentre si riducono le argille.

d) *Tetto dal Miocene superiore o serie gessosa-solfo-salifera.*

Al tetto si rinviene un diffuso orizzonte sabbioso anche di scarsa potenza, che segna la trasgressione tra il Miocene ed il Pliocene. Quest'ultimo terreno passa poi a marne che sono bianche, e talora calcaree (trubi in Sicilia e Calabria), oppure grigiastre e leggermente marnose ("Tabianano") in Basilicata, Campania e Toscana.

9.1.2 Elenco dei bacini salini

Lo studio del Servizio Geologico Nazionale, in precedenza citato, ha identificato n. 45 giacimenti salini distribuiti in cinque Regioni (Sicilia, Calabria, Basilicata, Lazio e Toscana) le cui caratteristiche, di interesse per il presente studio, sono riportate nella tabella 9.1.
I singoli bacini salini sono stati individuati e numerati progressivamente a partire dalla Sicilia orientale, verso occidente, e risalendo poi la penisola italiana da sud verso nord.
Sono stati così esaminati i seguenti N. 27 bacini in Sicilia, N. 4 bacini in Calabria, N. 1 bacino in Basilicata, N. 1 bacino in Campania ed 1 bacino in Toscana.

9.2 FASE 2 - Primo livello d'esclusione: caratteristiche morfologiche dei giacimenti

I 45 depositi salini sono stati sottoposti ad un primo esame dei requisiti riguardante l'idoneità dei singoli giacimenti, rispetto alle caratteristiche morfologiche del giacimento, con particolare riferimento alle caratteristiche della copertura e allo spessore e dimensioni della formazione salina.

Questo criterio ha portato all'esclusione dei siti evidenziati in tabella 9.2.

A risultati identici era pervenuto lo studio della Commissione Europea "European Catalogue of the Geological Formations Having Favourable Characteristics for the Disposal of Solidified High Level and/or Long Lived Radioactive Waste", nel Capitolo 7 interamente dedicato all'Italia.

9.3 Fase 2 - Secondo livello d'esclusione: requisiti di isolamento del giacimento

L'applicazione del secondo livello d'esclusione ai 13 giacimenti selezionati porta all'identificazione di cinque giacimenti con caratteristiche di idoneità rispetto alle caratteristiche morfologiche del giacimento e allo spessore e impermeabilità della formazione di tetto.

9.4 FASE 2 - Terzo livello d'esclusione: sismicità

L'applicazione del terzo livello richiede un esame preliminare dell'assetto geologico-strutturale e cinematico d'insieme dell'Italia meridionale ove sono localizzati i 5 siti risultanti dall'applicazione del secondo livello visto precedentemente.
Tale esame si basa sullo stato dell'arte delle conoscenze in tema di tettonica delle placche, E prende in considerazione un'area molto vasta, comprendente il Mediterraneo e le terre ad esso circostanti. Tale estensione areale è imposta dalla complessità delle vicende geologiche che hanno caratterizzato i settori crostali compresi tra le litosfere africano-araba a Sud e euro-asiatica a Nord. Solo in tal modo è possibile fissare condizioni al contorno sufficientemente condivise.

9.4.1 Cinematica e sismicità dell'area circum-mediterranea

Il Bacino del Mediterraneo e le aree emerse ad esso circostanti sono il risultato di una complessa vicenda geologica che può essere fatta risalire almeno alla fine del Paleozoico.
La presenza di strutture formatesi a seguito di più orogenesi, da quella ercinica all'orogenesi alpina ancora in atto (unitamente a quella cimmeride, interposta tra le due, per le porzioni orientali dell'area circum-mediterranea) porta alla considerazione che l'area è oggetto delle forze che da alcune centinaia di milioni di anni stanno portando all'eliminazione della litosfera a crosta oceanica, interposta fra quelle a crosta continentale a sud (Africana e Araba) e quella a nord (Eurasiatica).
Tale litosfera, ampia originariamente almeno quanto l'attuale Atlantico, viene subdotta al di sotto di quelle continentali più spesse e meno dense ed assimilata all'interno del mantello astenosferico.

L'eliminazione di crosta oceanica, però, come previsto dalla "Plate Tectonics", ha portato alla nascita di bacini di retroarco che generano nuovi bacini oceanici, progressivamente più ristretti dei bacini andati in subduzione; ciò fa si che, malgrado il lungo tempo trascorso, il bacino oceanico originario non sia ancora completamente scomparso e, quindi, le masse continentali al bordo non si siano saldate.

La complessità della vicenda può essere schematizzata dalla situazione paleogeografica nei due momenti dell'evoluzione geodinamica dell'area circum-mediterranea rappresentati in figura 9.1.
La situazione a -35 Ma (milioni di anni) indica la forte riduzione dell'estensione dei bacini oceanici tetidei rispetto a quelli esistenti a -84 Ma. Uno di questi ultimi è completamente suturato in corrispondenza della catena alpino-dinaride.
Se si raffronta la situazione a -35 Ma con quella odierna si può notare la suturazione, testimoniata dai complessi ofiolitici traccianti le zone di collisione, dei bacini i cui sedimenti corrugati si rinvengono nelle catene degli Zagros, del Caucaso, delle Pontidi, Magrebide e dell'Atlante nord-africano.

Ma proprio da tale raffronto emerge, come detto, che l'eliminazione dei bacini oceanici (tetidei in questo caso) non è stata completa, sia perché dalle collisioni dell'orogenesi alpina si è preservato il bacino ionico-mediterraneo orientale (costituito da un residuo di crosta oceanica della Te-

tide giurassica ormai fredda e densa), sia perché si sono formati bacini di retroarco, quali il bacino balearico, (con crosta oceanica non ancora fredda) e quelli del Tirreno e dello Ionio, nei quali la crosta oceanica è addirittura in formazione e quindi calda e meno densa (per il Tirreno, nel settore SE).

L'area circum-mediterranea ha, pertanto, corpi di varia natura (continentali ed oceanici), di differente età e temperatura e con reologia (e quindi con comportamento meccanico) anche completamente diverso tra loro; se si considerano anche le differenze tra i cinematismi (da corpi che si muovono con velocità di 1-2 cm/anno come Africa e Arabia a quelli che sono stabili come la placca eurasiatica) e la presenza di alti del mantello, che costituiscono forti ostacoli al movimento delle placche (duomi balearico, tirrenico, pannonico, egeo e del Mar Nero), ne deriva una elevata complessità della distribuzione degli sforzi in atto che non risulterebbe facilmente intelligibile senza la definizione di un quadro cinematico-deformativo d'insieme come quello indicato in figura 9.2.

Tale quadro è caratterizzato dai seguenti elementi cinematici e reologici:

- il cratone europeo (Eurasia) stabile;
- la placca africana che si muove circa verso nord ad una velocità intorno al cm/anno; (solidalmente ad essa si muove nella stessa direzione e velocità la Sicilia, il bacino ionico e quello adriatico, pianura padana compresa);
- la placca araba che dal Miocene superiore si è separata dall'Africa e si muove verso N con velocità doppia di quella africana (dalla quale è separata dal Mar Rosso e dalla trascorrente sinistra del Mar Morto);
- la microplacca turca che si muove verso W lungo gli svincoli della North Anatolian Fault, a nord, e della East Anatolian Fault, a sud-est;
- l'astenosfera dei bacini oceanici di retroarco Balearico (inattivo dalla fine del Miocene), tirrenico (attivo nella sua porzione SE) ed Egeo (bacino di retroarco attivo) che si oppongono in maggior o minor misura ai movimenti verso N rispettivamente del bordo settentrionale dell'Africa e della Sicilia;
- l'astenosfera del bacino semi-oceanico del M. Nero che si oppone a quello della microplacca turca consentendone lo svincolo verso W;
- il duomo astenosferico Pannonico che ha guidato il drappeggio ad arco dei Carpazi;
- il duomo astenosferico del Tirreno che si espande verso il bacino ionico il cui "slab", per effetto sia del movimento verso N della placca africana alla quale è solidale, sia del suo peso e soprattutto di detta espansione, va in subduzione al di sotto dell'Appennino calabro e si immerge nel mantello astenosferico sud-tirrenico.

Nello schema di figura 9.2 è riportato il limite delle placche principali, la posizione e l'età dei corpi a diversa reologia ad esse interposti, unitamente alle zone di deformazione "recenti" plio-pleistoceniche che sottolineano le zone di contatto attivo tra i vari corpi in deformazione.

Coerentemente al quadro cinematico/reologico la distribuzione dei terremoti nella carta di figura 9.3 ricalca le zone in deformazione con l'esclusione di quelle ad alto flusso termico dove la temperatura delle rocce è tale per cui non si ha accumulo di stress e quindi non si ha rilascio di terremoti (Egeo, Tirreno, Bacino Pannonico, Mar Nero...).

9.4.2 Cinematica e sismicità dell'area italiana

In figura 9.4 è illustrata la situazione italiana con la messa in evidenza del ruolo cinematico dei corpi astenosferici del Tirreno che nella risalita, cui si affianca una forte espansione termodinamica, premono sulle aree circostanti.

Le frecce indicano le direzioni prevalenti di espansione legate evidentemente a zone di minore resistenza come il bacino a crosta oceanica fredda e densa (che, quindi va facilmente in subduzione) dello Ionio. Nella figura in esame si vedono bene anche le zone in cui la Moho si deforma approfondendosi sotto la spinta (e il peso) del duomo astenosferico tirrenico, con particolare riguardo per la parte sud-orientale.
Ormai praticamente esaurita l'espansione per effetto termico della porzione più vecchia (Mioc. Sup) del duomo astenosferico indicata con (1), che ha anche avuto il tempo (circa 5 milioni di anni) per scaldare le rocce continentali del bordo tosco-laziale, resta fortemente attiva l'espansione del settore centro-meridionale dello stesso, facilitata dalla "cedibilità" e "ricettività" della litosfera ionica.
Considerata l'impossibilità di spostare il blocco sardo-corso, per la presenza a tergo del duomo astenosferico balearico, le deformazioni riguardano prevalentemente l'espansione del settore (2) verso SE.
Qui il duomo sud-tirrenico è anomalmente prossimo alla superficie e arriva a sormontare parzialmente la moho del settore settentrionale della Sicilia e di quello SW dell'Italia centro-meridionale.
In corrispondenza dell'arco calabro il duomo sovrasta completamente tale superficie e aiuta lo "slab" ionico (anche sotto il suo peso e dietro la spinta della placca africana di cui è parte) ad immergersi completamente nell'astenosfera sud-tirrenica fino a profondità di 400-500 km.

In figura 9.5 è riportato lo stesso schema cinematico-strutturale unitamente ai terremoti con magnitudo > 5 che hanno interessato l'Italia centro-meridionale.
Dal raffronto si può vedere l'ottima corrispondenza tra le deformazioni crostali indotte dall'espansione del duomo tirrenico e i rilasci sismici presenti a catalogo.
Si notino le diverse profondità dei terremoti che aumentano considerevolmente dall'arco calabro andando verso NW nel centro del Tirreno dove si incontrano nell'ordine (dal più recente al più vecchio) i vulcani sottomarini Marsili (v. figura 9.6), Vavilov e Magnaghi che sottolineano la vicinanza al fondo marino dei fusi magmatici connessi con la risalita del duomo astenosferico.

In figura 9.7 è riportato schematicamente l'assetto geologico-strutturale dell'Italia meridionale ripreso dagli studi condotti dell'Agip per le ricerche petrolifere e da quelli sulla crosta profonda condotti da CNR, Agip ed ENEL (da questa conferiti a SOGIN).

Nella sezione di figura 9.7, orientata circa W-E, si notano i rapporti tra la catena appenninica a falde che si accavalla, per rispondere essenzialmente all'espansione del duomo tirrenico sopra indicata, sulla piattaforma carbonatica apula (affiorante sulle Murge).
Il fronte più avanzato delle falde, che reca sul dorso i depositi miocenici di salgemma rinvenuti nel sottosuolo di Scanzano Jonico, è da almeno 600.000 anni fermo per il concentrarsi dei movimenti di impilamento della catena in posizione arretrata (estrusione di "thrust" in fuori sequenza evidenziati dalle superfici di scollamento che tagliano la superficie riportate sulla sinistra della sezione) e per il concentrarsi delle spinte connesse con l'espansione del duomo tirrenico in direzione SE (verso il centro del bacino ionico).

Nelle figure 9.8 e 9.9 sono riportate le valutazioni sulla pericolosità sismica dell'Italia centro-meridionale del CNR-GNDT; in tali figure è importante notare l'elevata pericolosità dell'Irpinia (dove la catena a falde è raggiunta dalle dislocazioni connesse con l'oceanizzazione tirrenica e quelle transtensive sinistre che svincolano i movimenti verso lo Jonio) e dell'arco calabro direttamente coinvolto dall'espansione del lobo SE del duomo tirrenico.

Una pericolosità non trascurabile è presente in Sicilia ed in particolare in corrispondenza dei sui bordi settentrionale ed orientale, dove si concentrano rispettivamente gli "stress" indotti dal contrasto tra la spinta della Placca africana e il duomo tirrenico e quelli per la lacerazione lungo la scarpata di Malta dello "slab" jonico nel suo inarcamento al di sotto delle calabridi; lacerazione

alla quale va probabilmente attribuita la causa del più forte terremoto storicamente noto in Italia, quello del 1683 di magnitudo 7,5.

Lo scuotimento atteso, infine, nel sito di Scanzano Jonico presenta valori molto modesti: come si ricava dalla figura 9.9 il sito ricade tra le aree italiane a minore pericolosità sismica avendo un'accelerazione di picco al suolo attesa compresa tra 0,08 e 012 g.

Per i siti nell'area di Enna, e più in generale per quelli della Sicilia, tenuto conto dello stato di "stress" in atto, non si può escludere nel lungo termine il rilascio di terremoti "random" (v. Belice) e sarebbe pertanto difficile da dimostrare la loro idoneità ad ospitare un deposito di tipo geologico per i rifiuti radioattivi ad alta attività e/o a a lunga vita.

Per quanto riguarda il sito di Neto (KR) questo è localizzato nelle vicinanze dei centri sismici più importanti dell'Italia meridionale dovuti, come detto, al particolare stato di "stress" cui è soggetta l'area, e pertanto viene escluso.

9.5 FASE 2 - Quarto livello di esclusione: stabilità geologica

Dall'esame degli elementi cinematici caratterizzanti le aree comprendenti i siti selezionati, ovvero

7. Assoro-Agira (En)
12. Salinella (En)
15. Resuttano (En)
43 Metaponto (Scanzano – Mt)

si rileva che i siti siciliani sono sottoposti ad un insieme di sollecitazioni per evoluzione geomorfologia e tettonica alquanto complesse e gravose, in grado di comprometterne, nel tempo, la stabilità geologica.
Oltre, infatti, alla tendenza ad un aumento dello stato di micro-fratturazione delle rocce, nei siti siciliani si rinvengono condizioni di evoluzione geomorfologia che favoriscono l'azione erosiva degli agenti esogeni (fenomeni atmosferici, dilavamento delle acque superficiali, etc.). Nella scala dei tempi previsti per un deposito di rifiuti di III categoria, lo spessore degli strati a protezione dei sottostanti depositi salini tende di conseguenza a ridursi, compromettendo la capacità complessiva del sistema di isolamento geologico. In Appendice 4 sono riportate la posizione e la stratigrafia dei siti siciliani di Assoro-Agira, Salinella e Resuttano.
Il complesso delle formazioni di copertura del giacimento salino di Scanzano Jonico è ben lontano dall'essere sottoposto all'azione demolitrice suddetta. Questa condizione potrà variare nel tempo in funzione dell'evoluzione geodinamica che interesserà l'area.
Una condizione di subsidenza dell'area o di innalzamento del livello marino accrescerà la distanza dalla biosfera del giacimento salino, a causa dell'accumulo di nuovi sedimenti al vertice degli strati protettivi del giacimento stesso.
Una ipotesi cautelativa di stasi geodinamica manterrà la situazione attuale di isolamento.

9.6 Individuazione finale del sito

Queste ultime considerazioni, unitamente a quelle espresse nel precedente paragrafo 9.4 in merito alla sismicità delle aree siciliane, hanno portato, pertanto, al convincimento che il sito di Metaponto-Scanzano Jonico e in particolare il deposito di salgemma rinvenuto nel sottosuolo del comune rappresenta, con riferimento alle assunzioni di cui in premessa, e allo stato attuale delle conoscenze, il sito più idoneo ad ospitare un Deposito Nazionale centralizzato unico per lo smaltimento:

- dei rifiuti radioattivi di medio/bassa attività;
- e, in una prospettiva di più lungo termine, a seguito dei positivi risultati della sperimentazione in un Laboratorio da realizzare all'interno dello stesso giacimento salino, anche dei rifiuti ad alta attività e lunga vita media.

Le attività della Terza Fase della procedura di selezione del sito potranno confermare in via definitiva la scelta effettuata.

9.7 Bibliografia

1. APAT: Guida Tecnica n. 26 "Gestione dei Rifiuti Radioattivi"
2. SOGIN: Inventario dei materiali provenienti dalle centrali nucleari della SOGIN e destinati al deposito nazionale per i rifiuti radioattivi (Aprile 2003)
3. Task Force ENEA per il Sito Nazionale: "Inventario Nazionale dei Rifiuti Radioattivi – 2000 - 3° edizione"
4. ENEA/NUCLECO: Caratterizzazione radiologica mediante spettrometria gamma in sito degli impianti e laboratori ENEA (Dicembre 2000)
5. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-25 - ENEA Inventory Project 2001- Results of Saluggia data analysis – NAGRA, August 2001
6. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-29 - ENEA Inventory Project 2001- Results of Nucleco data analysis, Vol. 1 – NAGRA, October 2001
7. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-29 - ENEA Inventory Project 2001- Results of Nucleco data analysis, Vol. 2 – NAGRA, October 2001
8. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-30 - ENEA Inventory Project 2001- Results of Trisaia data analysis – NAGRA, November 2001
9. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-33 - ENEA Inventory Project 2001- Results of Casaccia data analysis – NAGRA, November 2001
10. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-38 - ENEA Inventory Project 2001- Results of CISAM, FIAT, FN and Ispra data analyses – NAGRA, December 2001
11. APAT: Inventario Nazionale dei Rifiuti Radioattivi (Gennaio 2003)
12. Rapporto del Gruppo di Lavoro sulle Condizioni per la Gestione in Sicurezza dei Rifiuti Radioattivi- Accordo Stato-Regioni del 4 novembre 1999- Conferenza Stato-Regioni, Gennaio 2001
13. IAEA Technical Report Series N. 389
14. U.S. NRC: NUREG CR-4101 "Assay of long lived radionuclides in low level wastes from power reactors", April 1985
15. EPRI NP 4037 Final Report "Radionuclide Correlations in low level radwaste", June 1985
16. SF-STAT, "A computer code for deriving scaling factors for Difficult-to-Measure (DTM) radionuclides in low level waste streams".

9.8 Tabelle e figure

Tabella 9.1 – Servizio Geologico Nazionale. DEPOSITI SALINI – Caratteristiche generali (CNEN–EURATOM 022-76-9 WASI).

IDENTIFICAZIONE	GIACIMENTO SALINO						FORMAZIONI DI COPERTURA				
	Stato utilizzazione deposito salino	tipologia del corpo salino	dimensioni km²	Potenza, m	lavori eseguiti	interesse minerario	formazioni di tetto (copertura) litologia	Spessore, m	permeabil.	Erosione mm/anno	formazioni di letto
Sicilia – Provincia di Enna											
1 – CENTURIPE (EN)	Sviluppo minerario non previsto	Lenticolare – non esattamente definita	0.5 x 0.2	200-300	Gallerie abbandonate	Quasi nullo	Argille Argille-gessi	50-250	Quasi Impermeabile	2,5	Argille eterogenee
2–REGALBUTO (EN)	Sviluppo minerario non previsto	corpo unico non definito	2	500	Rilevamento Geologico	da definire	Argille Argille-gessi	100-400	Quasi Impermeabile	2,5	Argille eterogenee
7-ASSORO-AGIRA (EN)	Sviluppo minerario non previsto	2 grossi banchi con intercalazioni di argilla	15 x 20	130-340	6 sondaggi	Scarso	Argille e Argille-gessi	200-600	Impermeabile	2	Argille varie
8 – NICOSIA(EN)	Sviluppo minerario non previsto	Alternanze di strati e lenti con argoille	2-3	Varia, Comunque Piccola	11 sondaggi e vecchie gallerie	Mediocre o scarso	Argille, sabbie gessareniti	0-200 ca.	Mediamente Permeabile	Intensa	Gessi,argille, Tripoli, Olistostroma
9 – VILLADORO (EN)	Possibilità di sviluppo minerario	Ammasso salino con frange lentiformi	1,5 x 1,5	50-250	12 sondaggi e vecchie gallerie	Industria di sali potassici	Argille e gessi	Qualche decina di metri	Semi-permeabile	Facile	Calcare, Tripoli, Argille
10 - PETRA LIA (EN)	In coltivazione	Sinclinale schiacciata	1,5 x 1,6	400-500	4 sondaggi e miniera attiva	Industria di Salgemma	Argille e gessi	Variabile	Permeabile	Intensa	Marne tripolacee
11 – VILLAPRIOLO (EN)	In coltivazione	Ammasso salino con intercalazioni argillose	10 x 6	100-1.000	30 sondaggi e miniera in esercizio	Industria di sali potassici	Argille e gessi	Variabile	Semi-permeabile	Facile	Argille gessoso
12 – SALINELLA (EN)	Sviluppo minerario non previsto	Corpo lenticolare	4 x 2	120-300	9 sondaggi	Marginale	Argille e gessi	50-250	Impermeabile	1	Argille e marne bituminose
13 -PASQUASIA (EN)	In coltivazione	Corpo salino massiccio	12	500	40 sondaggi miniera in esercizio	Industria di sali potassici	Terreni vari Gessi e argille	Variabile	Poco permeabile	Media	Argille gessose
15 -RESUTTANO (EN)	Sviluppo minerario non previsto	Corpo massiccio con lenti d'argilla	3 x 5	300-500	4 sondaggi	Scarso o nullo	Argille e Gessi	100-300	Poco permeabile	2	Argille gessose
Sicilia – Provincia di Caltanissetta											
14 – CALTANISSETTA (CL)	Sviluppo minerario non previsto	Corpo salito unico	Poche centinaia di metri	20-150	11 sondaggi	Non ha interessi industriali	Argille e gessi	Variabile	Poco impermeabile	Facile	Tripoli Semi-permeabili
16 – S. CATERINA (CL)	Esaurito ed allagato	Ammasso sfrangiato ai bordi	2 x 0,6	200-400.	11 Sondaggi e miniera esaurita	Già abbandonata	Argille e gessi	100-300	Infiltrazioni di acqua	Facile	Tripoli e Argille gessose
17 – MARIANOPOLI (CL)	Sviluppo minerario non previsto	Corpo lenticolare di scarsa potenza	5	60-100	2 sondaggi ex salina	Scarso, Salgemma	Argille e Gessareniti	Ridotta	Infiltrazioni d'acqua	Facile	Argille e calcari permeabili

18 – BELICE-MIMIANI (CL)	Possibilità di sviluppo minerario	2 corpi salini distinti	15 ca.	400-500	18 sondaggi e cava attiva	Nei prossimi anni, interesse per K potassio	Argille e gessi	0-300	Localmente permeabile	Facile	Argille gessose
19 – S. CATALDO (CL)	Esaurito ed allagato	Ammasso stratoide	4 x 1	400-500	20 sondaggi e miniera in esaurimento	Miniera in esaurimento	Gessi e argille	Variabile	Locali infiltrazioni d'acqua	Media	Argille gessose
20 – MUSSOMELI (CL)	Possibilità di sviluppo minerario	Ammasso in posizione sub-verticale	Non accertata	Fino a 1.000	2 sondaggi di cui 1 negativo	Scarso o nullo	Argille e gessi	30	Semi-permeabile	Facilmente degradabile	Argilla gessose
21 – BOMPENSIERE (CL)	Possibilità di sviluppo minerario	Ammasso lentiforme	3	200-1000	7 sondaggi e ex salina attiva fino al 1912	Attualmente scarso con prospettive future	Argille e gessi	Variabile	Scarsa	Facile	Argille Gessose
23 – MILENA (CL)	Possibilità di sviluppo minerario	Corpo unico lenticolare	1	130-450	4 sondaggi	Possibili interessi futuri per K	Gessi e Argille	30-100	Semi-permeabile	Facile	Argille gessose

Sicilia – Provincia di Agrigento

22–RACALMUTO (AG)	In coltivazione	Corpo massiccio strizzato	1.5 x 3	1.000	18 sondaggi e miniera attiva per 30 anni	Industriale per Na e K	Gessi e Argille	Variabile	Infiltrazioni di acqua	Media	Argille
24 – CAMMARATA (CL)	Esaurito ed allagato	2 ammassi disposti a sinclinale schiacciata	1	400-600	Miniere abbandonate	Cessato ogni Interesse	Argille e gessi	Variabile	Infiltrazioni	Facile	Argille gessose
25 – CASTELTERMINI (AG)	Possibilità di sviluppo minerario	Ammasso con frangiature marginali	Non Accertata	100-600	4 sondaggi, ex discenderie	Scarso, in futuro per Salgemma	Argille e gessi	30-300	Semi-permeabile	Facile	Argille gessose
26 – PLATANI (AG)	Sviluppo minerario non previsto	Ammasso irregolare con intercalazioni di argilla	?	200	4 sondaggi	Nessuno	Alluvioni recenti	Molto Permeabile 25-40 m	Contatto Acqua/sale	Facile	Marne ed Argille
29 – PORTO EMPEDOCLE (AG)	Possibilità di sviluppo minerario	Grande ammasso	2 x 10	Max 600	10 sondaggi e lavori minerari in atto	Industriale per Potassio	Gesso e Argilla	100-300	Infiltrazione d'acqua	1	Argille e Tripoli
30 – REALMONTE (AG)	In coltivazione	Ammasso lentiforme con intercalazioni argillose	6 x 6	200-800	40 sondaggi e miniera in esercizio	Industriale per Potassio	Gessi e Argille	100-400	Infiltrazioni d'acqua	Scarsa	Argille gessose e Tripoli
32 – CIANCIANA (AG)	Sviluppo minerario non previsto	Ammassi lenticolari di modeste dimensioni	Non accertata	140	5 sondaggi	Scarso o possibile per Salgemma	Argille con massi di gesso	30- 330	Parzialmente permeabile	3	Il sale è interessato da contatti tettonici
33 – CATTOLICA ERACLEA (AG)	In coltivazione	Ammasso Stratoide	2 x 1	100-200	4 sondaggi Miniera in esercizio	Industria per salgemma	Argille con blocchi di gesso	20-100	Semi-permeabile	Media	Argille
34 – MONTALLEGRO (AG)	In coltivazione	Ammasso ellissoide allungato	2,5 x 4,5	100-250	26 sondaggi Miniera in esercizio	Industria per Potassio	Argille e Gessi	250 in media	Semi-permeabile	Scarsa	Argille gessose

Calabria – Provincia di Catanzaro

37 – F. NETO (CZ)	In coltivazione	Corpo stratoide con intercalazioni argillose	4	150 ca.	Sondaggi e coltivazione con soluzione	Industria per Salgemma	Argille e gessi	200-300	Pressoché impermeabile	Media	Argille
38 – F. LESE (CZ)	Possibilità di sviluppo minerario	Lenti e strati lentiformi	Non accertata (5x7 ?)	140	Vecchi lavori minerari	Scarso	Argille varie con gessi i	0-400	Poco permeabile	Media	Argille varie

Calabria – Provincia di Cosenza

39 – ROSSANO (CS)	Possibilità di sviluppo minerario	Ammassi lentiformi	Non accertata	30-100	Coltivazioni abbandonate e 15 sondaggi	Scarso per NaCl	Argille e Gessi	Variabile	Poco permeabili	3	Argille e gessi
42 – LUNGRO (CS)	Esaurito ed allagato	Grande lente o scaglia tettonica	Si stringe in basso	Varia	Miniera in chiusura in allagamento	Nullo	Argille e Gessi	Variabile	Scarsa (infiltrazioni)	Media	Breccia argillosa

Basilicata – Provincia di Matera

43 – METAPONTO (SCANZANO – MT)	Possibilità di sviluppo minerario	2 banchi con intercalazioni di argille	Oltre 10	250	2 sondaggi	Probabile estrazione di Salgemma	Argille e marne	715	Buona impermeabilità	Scarsa	Argille

Lazio – Provincia di Latina

44 – FORMIA (LT)	Possibilità di sviluppo minerario	Corpo stratoide	?	Oltre 140	5 sondaggi per ricerche di acqua	Incerto	Argille	50	Buona	Scarsa	?

Toscana – Provincia di Pisa

45 – VOLTERRA (PI)	In coltivazione	3 corpi stratoidi a lenti	22	In media 20	Numerosi sondaggi per ricerche ed estrazione	Coltivazione per dissoluzione del sale	Argille con pochi gessi	Variabile	Buona impermeabilità	Media	Argille

Tab. 9.2 - Esclusione dei depositi salini italiani in base al primo livello d'esclusione.

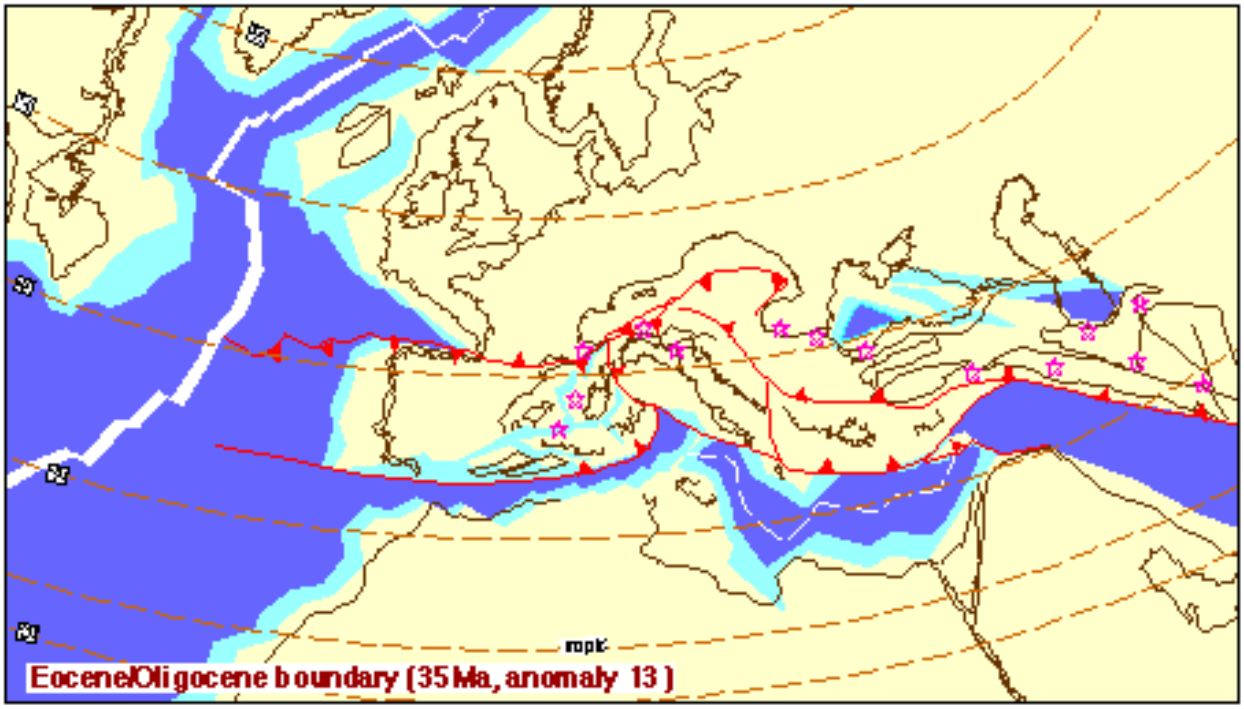
Regione	N.	Bacino	Semplice Manifestazione salina	Copertura non sufficiente	Elevazione superiore ai 500 m s.l.m.	Ridotto spessore del giacimento
SICILIA	1	Centuripe		X		X
	2	Regalbuto				
	3	Dittaino	X			
	4	Monte Calvino	X			
	5	Caltagirone	X			
	6	Gela	X			
	7	Assoro-Agira				
	8	Nicosia			X	
	9	Villadoro			X	
	10	Petralia			X	
	11	Villapriolo				
	12	Salinella				
	13	Pasquasia				
	14	Caltanissetta		X		X
	15	Resultano				
	16	S. Caterina		X		X
	17	Marianopoli		X		
	18	Belici-Mimiani		X		
	19	S. Cataldo		X		
	20	Mussomeli		X		
	21	Bompensiere				
	22	Recalmuto		X		
	23	Milena				
	24	Cammarata		X		
	25	Casteltermini		X		
	26	Platani		X		
	27	Comitini	X			
	28	S. Biagio	X			
	29	Porto Emp.				
	30	Realmonte				
	31	Raffadali	X			
	32	Cianciana		X		
	33	Cattolica E.		X		
	34	Montallegro				
	35	Foce Magazz.	X			
	36	Ribera	X			
CALABRIA	37	F. Neto				
	38	F. Lese				X
	39	Rossano				X
	40	San Gineto	X			
	41	San Donato	X			
	42	Lungo		X		
BASILICATA	43	Metaponto (Scanzano Jonico)				
LAZIO	44	Formia		X		X
TOSCANA	45	Volterra				X

X = Motivo di esclusione

Tabella 9.3 - Giacimenti risultanti dall'applicazione dei primi due livelli di esclusione.

IDENTIFICAZIONE	GIACIMENTO SALINO				FORMAZIONI INCASSANTI			
	Tipologia del corpo salino	dimensioni		Lavori eseguiti	formazioni di tetto (copertura)			Formazione di letto
		Area km²	Potenza m		Litologia	Spess.m	Permeabil.	
43 – METAPONTO (SCANZANO – MT)	2 banchi con intercalazioni di argille	Oltre 10	200, 150	5 sondaggi	Argille e marne	715	Impermeabile	Argille
7-ASSORO-AGIRA (EN)	2 banchi con intercalazioni di argilla	15 x 20	130, 340	6 sondaggi	Argille e Argille-gessi	200-600	Impermeabile	Argille varie
12 – SALINELLA (EN)	Corpo lenticolare	4 x 2	120, 300	9 sondaggi	Argille e gessi	50-250	Impermeabile	Argille e marne bituminose
15 -RESUTTANO (EN)	Corpo con lenti d'argilla	3 x 5	300- 500	4 sondaggi	Argille e Gessi	100-300	Poco permeabile	Argille gessose
37 – F. NETO (KR)	Corpo stratoide con intercalazioni argillose	4	150 ca.	Sondaggi e coltivazione con soluzione	Argille e gessi	200-300	Pressoché impermeabile	Argille

Figura 9.1 - Paleogeografia dell'area mediterranea (in alto, 84 milioni di anni fa, e, in basso, 35 milioni di anni fa) da cui si vede la progressiva riduzione dei bacini oceanici interposti alle aree continentali, sia pure in un quadro strutturalmente alquanto complesso.



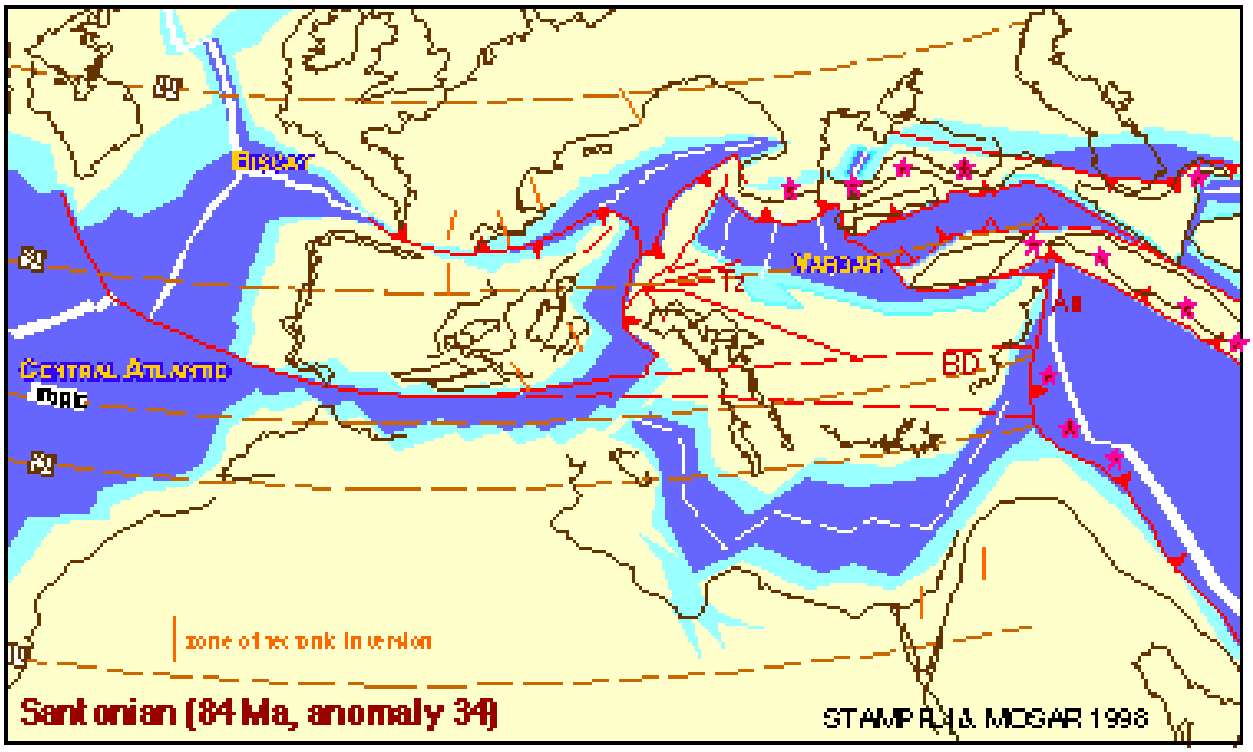


Figura 9.2 – Quadro cinematico-deformativo dell'area mediterranea.

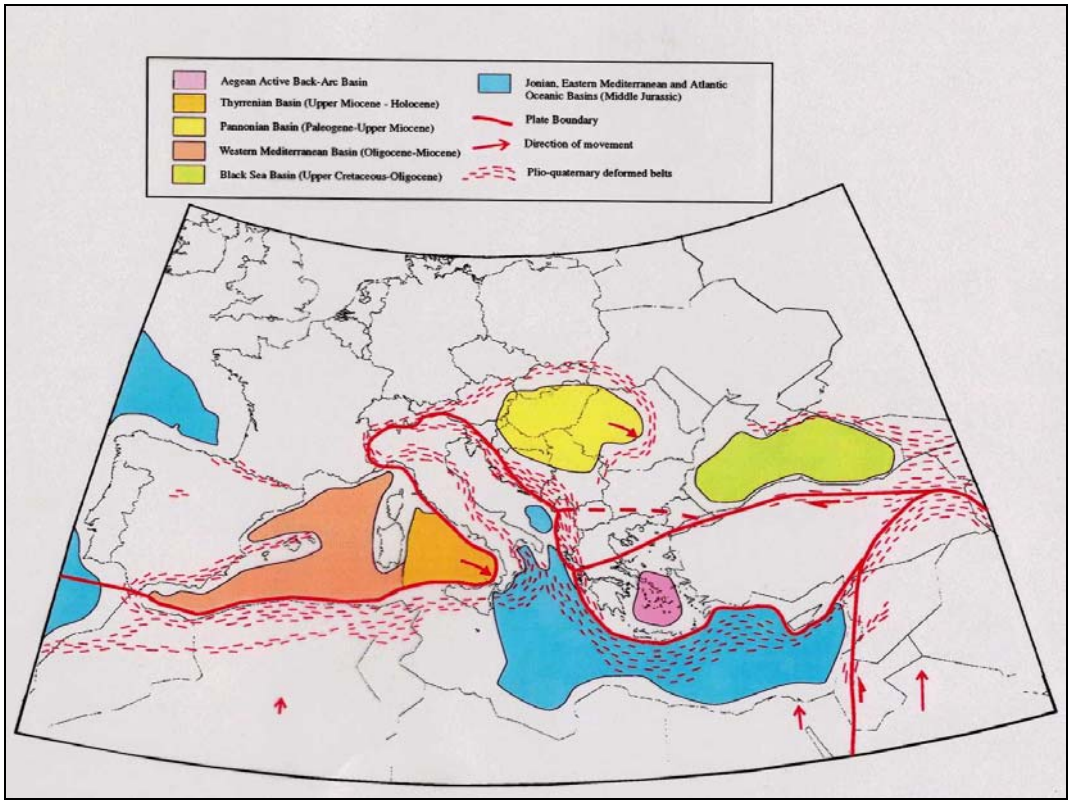


Figura 9.3 – Cinematismi e sismicità dell'area mediterranea.

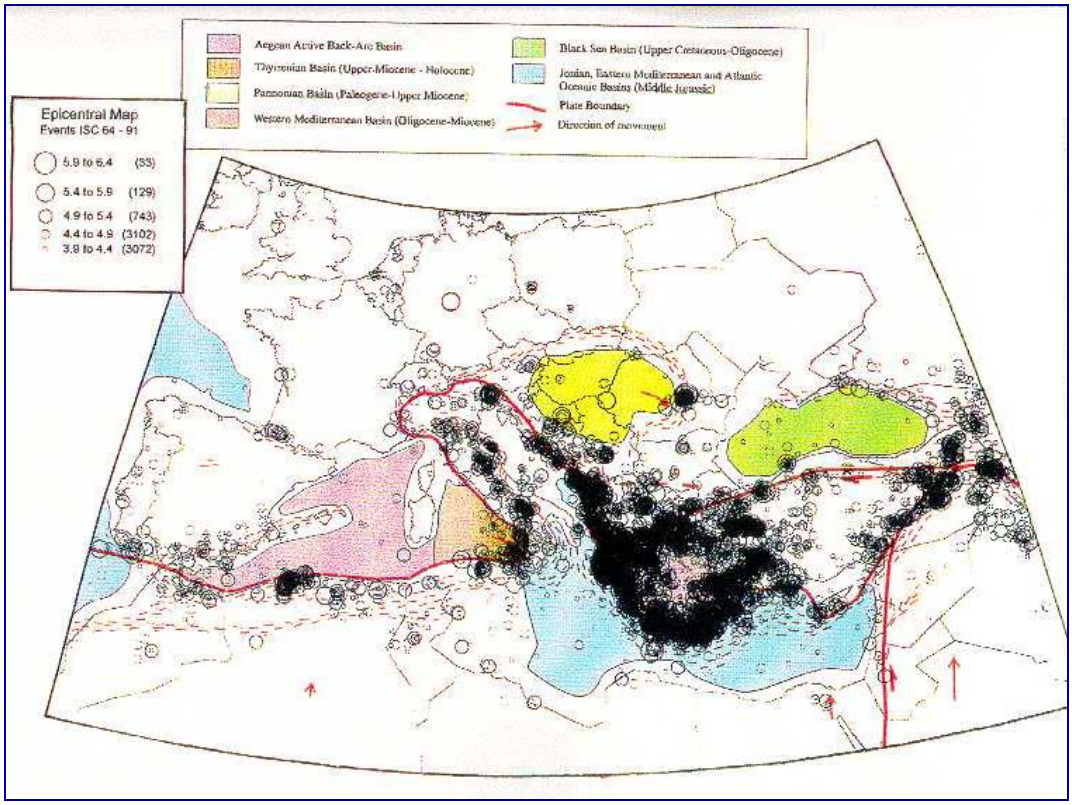


Figura 9.4 – Rapporto fra le deformazioni della moho (le curve sono delle isopache della crosta che corrispondono alla profondità della discontinuità di Mohorovicic o moho).

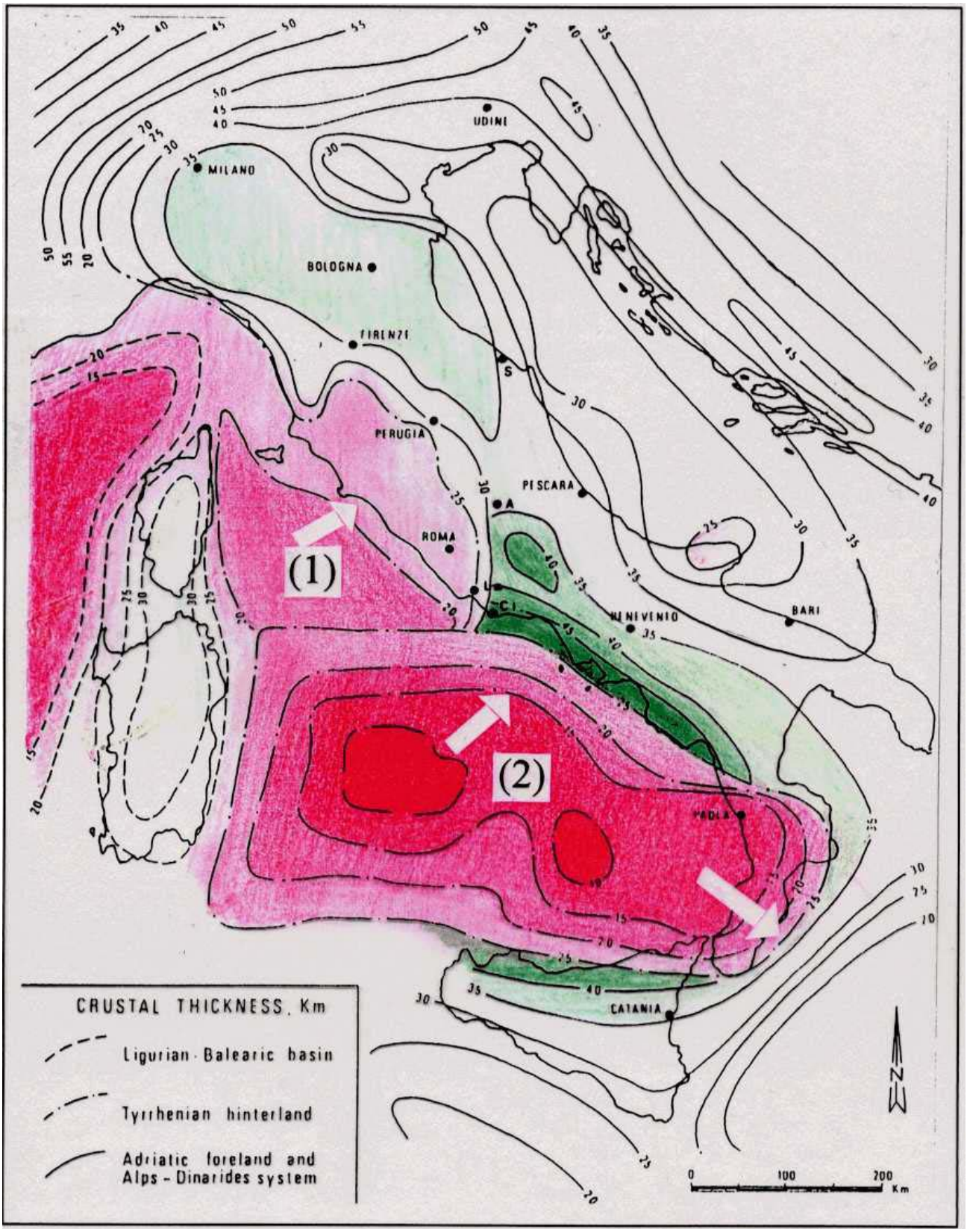


Figura 9.5 – Deformazioni crostali sotto la spinta dei duomi tirrenici e sismicità dell'Italia centro-meridionale.

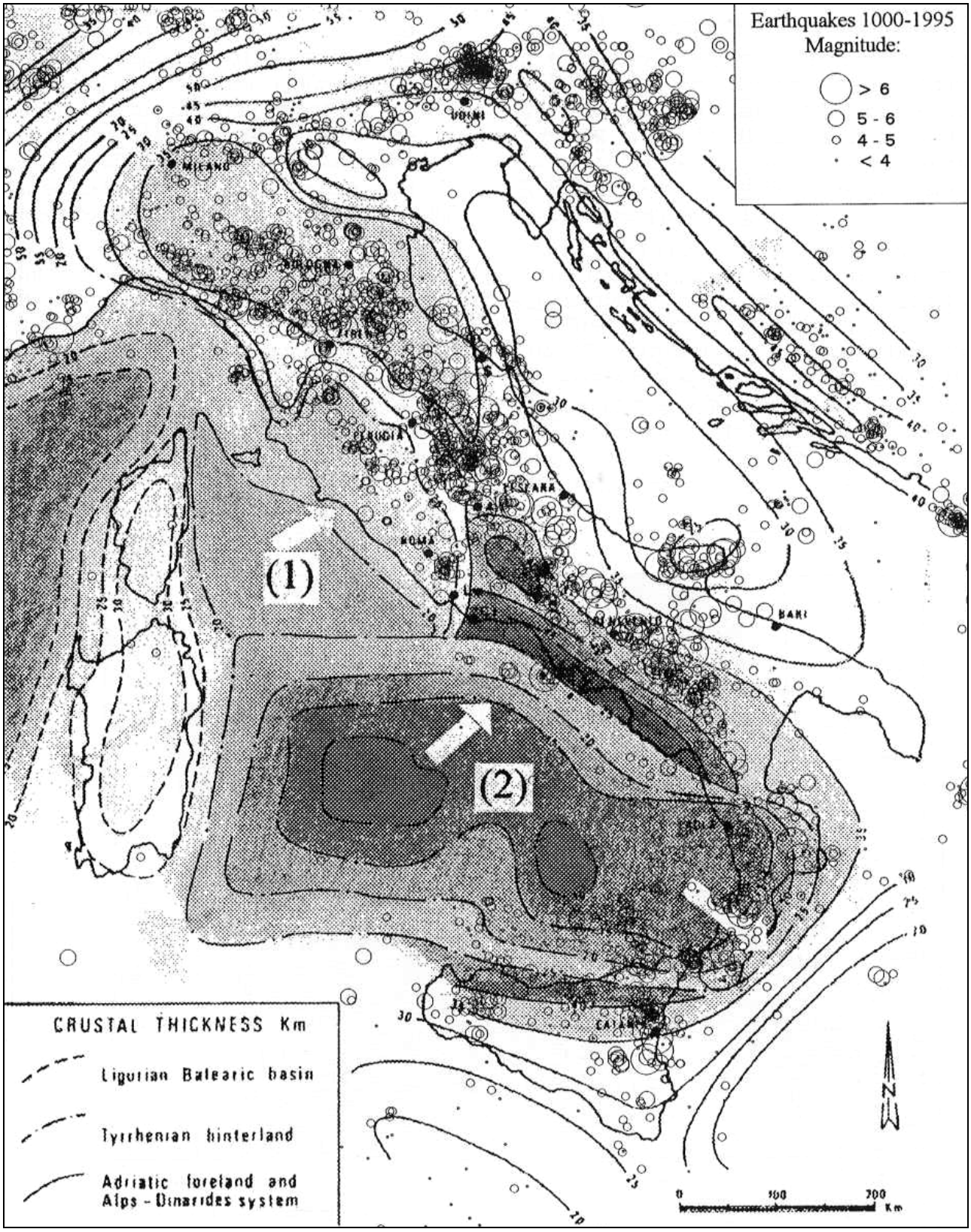


Figura 9.6 – Espansione del lobo SE del duomo tirrenico verso il bacino jonico.

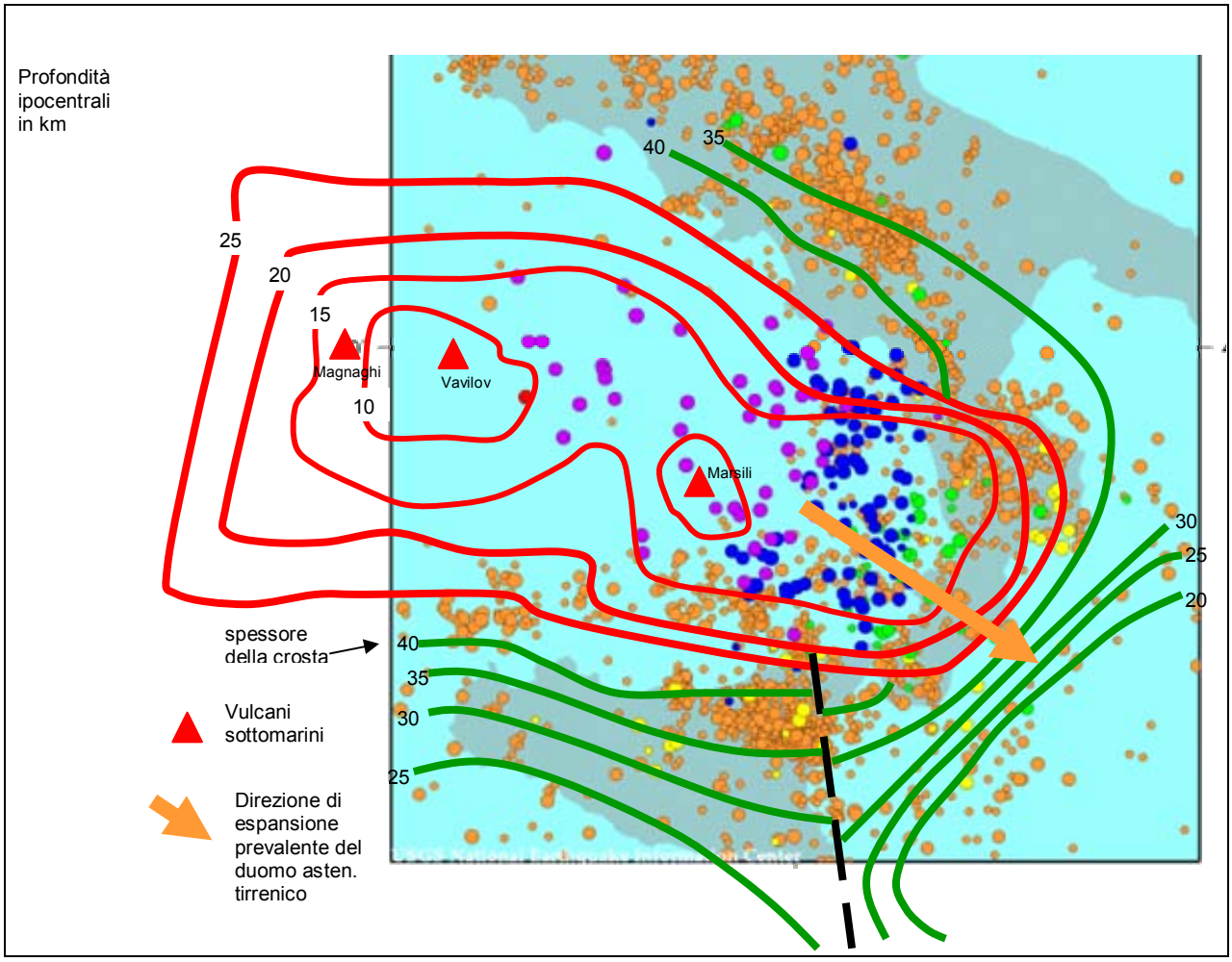


Figura 9.7 - Il vulcano sottomarino del Marsili visto da N.

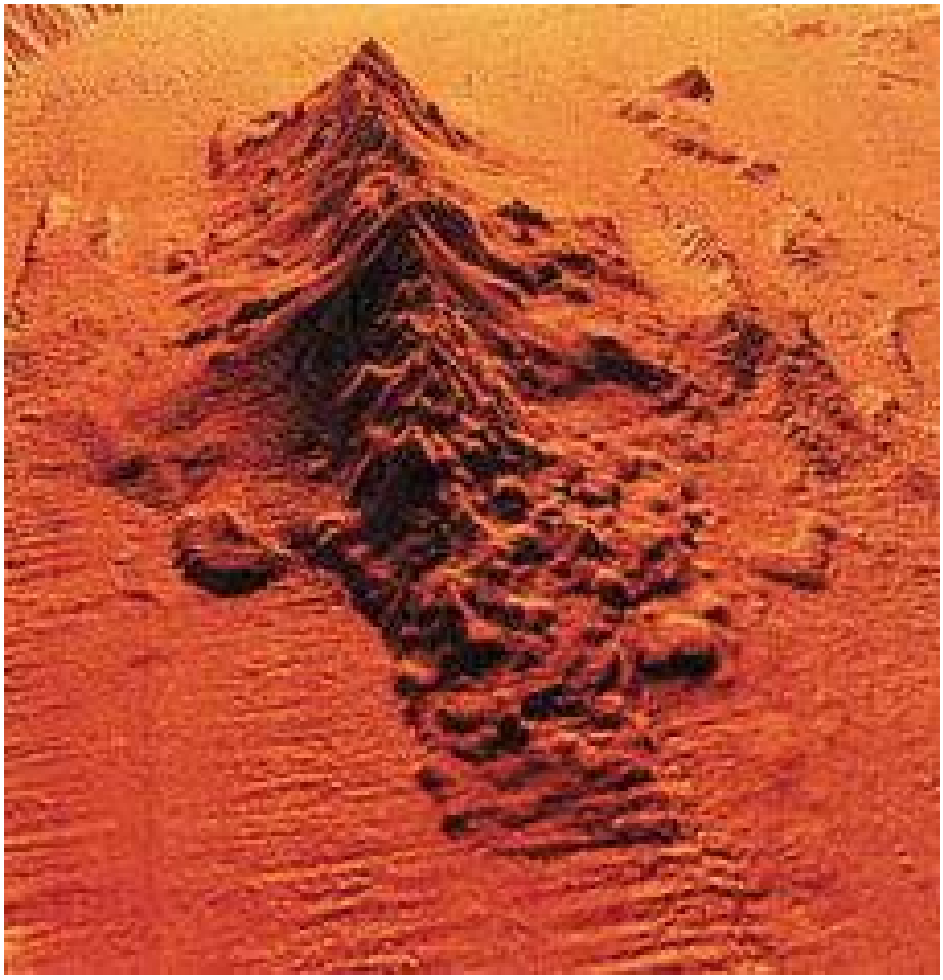


Figura 9.8 – Rapporti catena a falde appenninica e avampaese apulo.

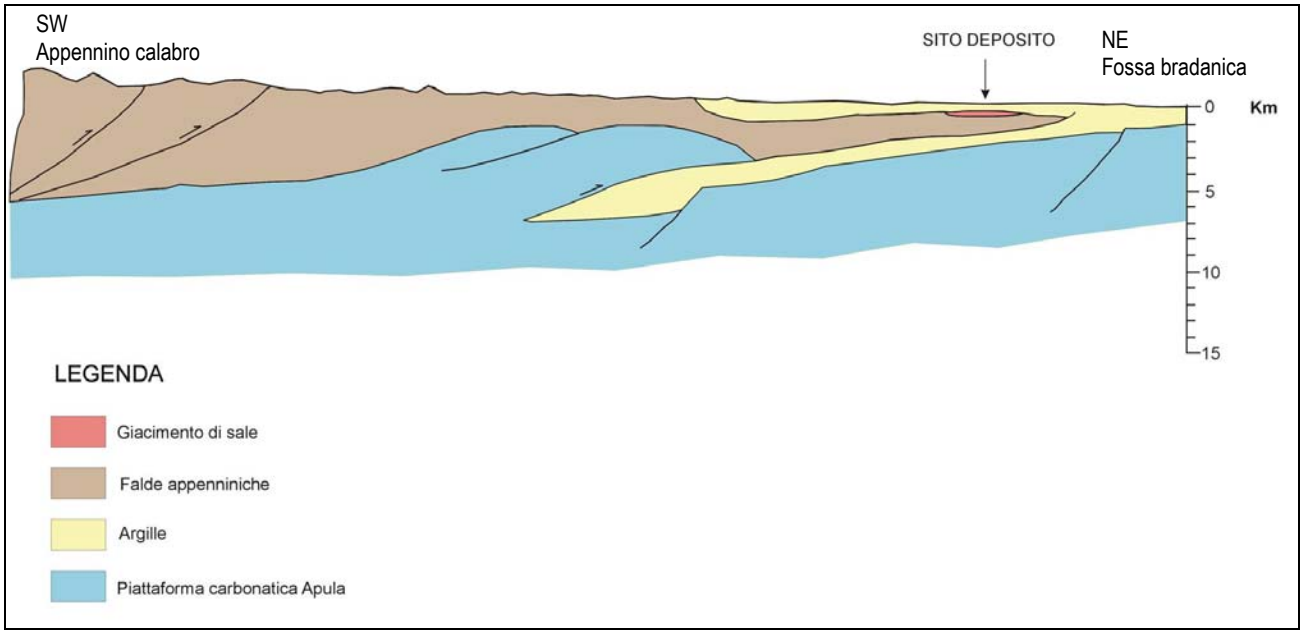


Figura 9.9 - Pericolosità sismica (Max Intensità attesa) da CNR-GNDT.

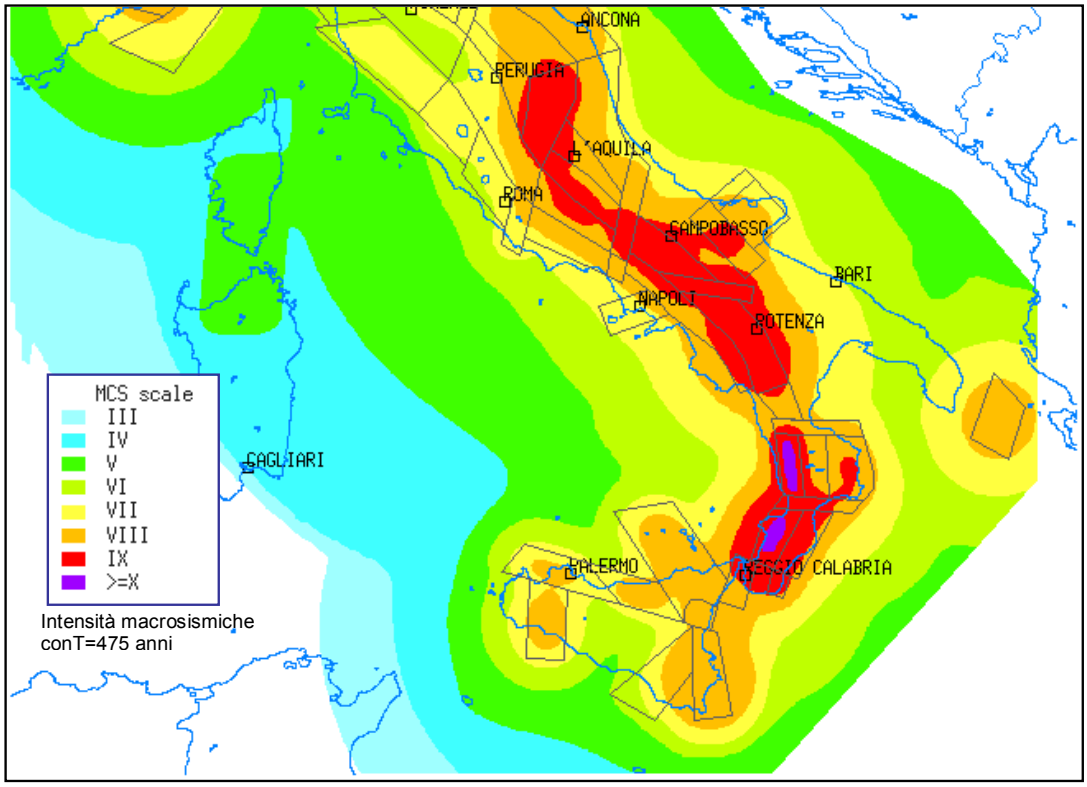
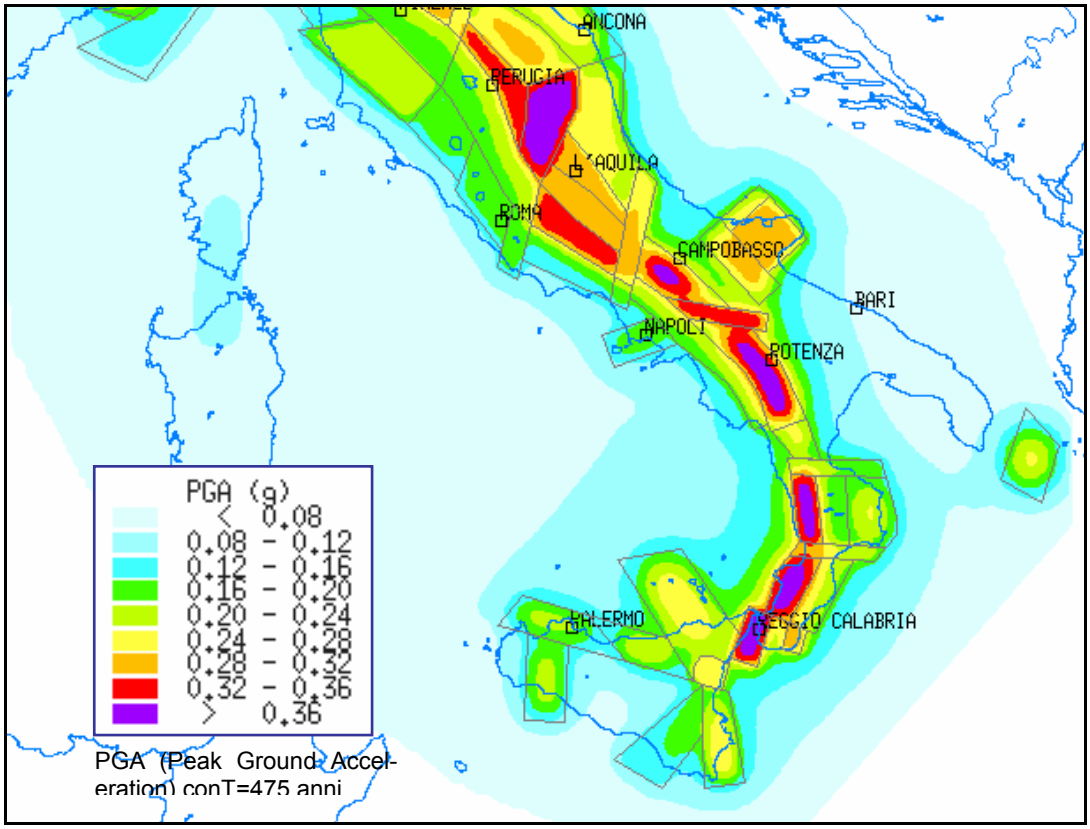


Figura 9.10 - Pericolosità sismica (Max accelerazioni attese) da CNR-GNDT.



10 CARATTERISTICHE SISMICHE E GEO-IDROLOGICHE DEL SITO DI SCANZANO JONICO

10.1 Sismicità

In base a quanto illustrato si può affermare che l'area nella quale ricade il sito di Scanzano Jonico non è di per sé sismogenetica, anche se può essere occasionalmente interessata dai risentimenti di forti terremoti lontani che hanno origine nell'area appenninica ed ellenica.
La "Mappa delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani" pubblicata congiuntamente dall'Istituto Nazionale di Geofisica (INGV), Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti (GNDT) e Servizio Sismico Nazionale (SSN) indica per il territorio del comune di Scanzano un valore della massima intensità risentita pari al VII MCS (caduta di suppellettili, suono di grosse campane, lievi incrinature nelle pareti, caduta di intonaci, rottura di comignoli) come risulta dalla mappa riportata nella figura 10.1.
I maggiori risentimenti nell'area sono dovuti al terremoto della Basilicata del 1857 con epicentro, a circa 60 km di distanza, nell'area di Montemurro e con intensità epicentrale dell'XI MCS .
L'area del comune di Scanzano, secondo la normativa italiana (Legge 02.02.74 n. 64 e successivi decreti) è stata classificata come "non sismica" sino al marzo 2003, anche se nella proposta di riclassificazione del 1980 (CNR Progetto Finalizzato Geodinamica:"Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale") veniva consigliato l'approfondimento degli studi tettonici e sismologici per meglio valutare la sua potenzialità sismica.
Con la recente ordinanza N. 3274 del 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri l'area di Scanzano Jonico è stata classificata come "sismica di III categoria", la più bassa delle tre categorie sismiche previste dalla classificazione italiana.
Ai fini della valutazione degli effetti dei terremoti sul deposito è molto importante porre in evidenza che la soluzione adottata (ubicazione in sotterraneo circa 800 m al disotto del piano campagna) contribuisce a limitarli notevolmente. Infatti tutta la bibliografia scientifica è concorde nel riconoscere le notevoli riduzioni di ampiezza delle onde sismiche con la profondità.

10.2 Principali caratteristiche geologiche

Sepolto sotto oltre 700 metri di sedimenti più recenti, il corpo salino di Scanzano, situato in prossimità della foce del fiume Cavone, è stato scoperto negli anni cinquanta nel corso delle prospezioni eseguite dall'Agip in Basilicata per la ricerca di idrocarburi e successivamente indagato in maggior dettaglio allo scopo di valutare la fattibilità economica dello sfruttamento del salgemma.
Le indagini eseguite hanno permesso di accertare che la lente di sale (salgemma purissimo) è in realtà costituita da due corpi salini sovrapposti; la ricostruzione della sequenza stratigrafica mostra, al di sotto di circa 60 metri di depositi alluvionali recenti, una sequenza di depositi prevalentemente argillosi di età plio-quaternaria, a cui fanno seguito i due strati di salgemma, separati da uno strato di marne argillose (figure 10.2 e 10.3). Al di sotto del sale, secondo i dati delle perforazioni petrolifere circostanti, si incontrano sedimenti argillosi miocenici, poggianti su argille più recenti (Pliocene) in posizione autoctona; i calcari della piattaforma apula sono stati incontrati a circa 2 km e mezzo di profondità (interpolazione tra i pozzi Recoleta 1 e San Basilio 1) (figura 10.4).

L'idoneità dei depositi salini ad ospitare depositi di rifiuti pericolosi è da tempo nota in tutto il mondo, e deriva dalle peculiari caratteristiche fisico-meccaniche del salgemma.
Mentre infatti le altre rocce, a profondità non elevate, mostrano caratteristiche fragili (se sottoposte a sollecitazioni si deformano debolmente e, oltre un certo livello, si fratturano), il sale mostra uno spiccato comportamento duttile (se sottoposto a sollecitazione si deforma in modo irre-

versibile e la deformazione aumenta al passare del tempo); in sostanza, il sale più che come un solido si comporta come un fluido estremamente viscoso.
In questo modo, mentre le altre rocce (come il granito) sviluppano al loro interno una rete di fratture, che possono permettere il transito alle acque di falda e la conseguente mobilizzazione di materiale pericoloso, nel sale il processo di fratturazione è contrastato dalla sua plasticità; anche le microfratturazioni che si sviluppano in conseguenza degli scavi eseguiti al suo interno vengono rapidamente "riassorbite".
In tal modo, la permeabilità della massa salina è di vari ordini di grandezza inferiore a quella di tutte le altre rocce, argille comprese.

Il giacimento di salgemma di Scanzano Jonico è legato agli eventi geodinamici che, tra i cinque ed i sei milioni di anni fa, alla fine del periodo geologico chiamato Miocene, portarono al completo isolamento del Mediterraneo dall'Oceano Atlantico.
La conseguente forte evaporazione delle acque marine si tradusse in un accumulo sui fondali dei sali in esse contenuti (principalmente gesso e salgemma).
Oggi questi depositi si rinvengono, in affioramento o sotto sedimenti più recenti, lungo i margini della catena appenninica.
Con il ripristino del collegamento fra Mediterraneo ed Oceano Atlantico, il mare a salinità normale tornò ad invadere l'area, depositando al di sopra dello strato salino ingenti spessori di sedimenti argillosi. Successivamente la migrazione del fronte della catena a falde appenninica verso la Puglia provocò la traslazione dell'intera sequenza basamento pre-salino – sale – argille verso nord-est e il suo conseguente accavallamento sulle argille plioceniche "autoctone", poggianti su di una spessa piastra di calcari mesozoici (Piattaforma carbonatica Apula), che sono la diretta continuazione in profondità di quelli affioranti sulle Murge.

Come detto in precedenza, nell'area in esame questi movimenti di accavallamento tettonico verso la Puglia si sono progressivamente arrestati nel corso del Pleistocene inferiore per il concentrarsi dei movimenti di impilamento della catena in posizione più arretrata, cioè più sud-occidentale (estrusione di thrust in fuori sequenza). Da tale periodo (circa 600.000 anni fa) fino ad oggi l'area è stata interessata soltanto da residui movimenti verticali d'insieme. Questi ultimi hanno portato, circa 250.000 anni fa, ad una prima emersione dal mare di questa zona. Da questo momento l'interazione tra questo continuo sollevamento e le oscillazioni glacio-eustatiche del livello marino ha generato una successione di superfici terrazzate (sia marine che fluviali) che costituiscono l'attuale carattere geomorfologico più evidente di quest'area. Sono stati riconosciuti almeno 6 o 7 (9-10 a sud del F. Sinni; Amato et Al., 1997) ordini di terrazzi marini (figura 10.5) a testimonianza di altrettante antiche linee di costa ormai sollevate rispetto all'epoca della loro formazione (la più alta e più antica si trova ad oltre 260 m s.l.m. nei pressi di Montalbano Jonico). La datazione di tali linee di costa permette di stimare tassi di sollevamento compresi tra 0,4 e 1,6 mm/anno, progressivamente decrescenti procedendo da SO verso NE (tilting dell'intera successione verso NE).
A questi terrazzi è legata la deposizione di sottili coltri di depositi clastici (da sabbie fini a ghiaie, talvolta leggermente cementate) che ricoprono i precedenti sedimenti argillosi. Sulla verticale del giacimento salino sono presenti in superficie le più recenti di queste coltri di depositi, legate all'evoluzione olocenica della linea di costa e dei corsi d'acqua della zona (ultimi 10.000 anni).

10.3 Caratteristiche idrogeologiche

La stessa attuale esistenza del salgemma (composto altamente solubile in acqua) nel sottosuolo testimonia la pressoché totale assenza di una circolazione di acque sotterranee a quelle profondità che altrimenti ne avrebbe causato la progressiva dissoluzione. Tale assenza di circolazione è ben giustificata dalla presenza a tetto e a letto del giacimento salino, di rilevanti spessori di sedimenti a bassissima permeabilità, prevalentemente argillosi. Tali sedimenti si comportano da acquicludi, isolando il sale dagli acquiferi profondi o superficiali presenti nell'area. Il prin-

cipale acquifero profondo è costituito dalle rocce carbonatiche della piattaforma apula che come detto si trovano a circa 2500 m di profondità; quelli superficiali sono invece costituiti dalle citate coltri di depositi clastici del Pleistocene medio-superiore che coprono i sedimenti argillosi.

10.4 Rischio idraulico

Un'analisi del rischio idraulico della zona è stata eseguita recentemente dall'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata nel suo Piano Stralcio per la difesa dal Rischio Idrogeologico (PAI – Aggiornamento 2003). Utilizzando la metodologia "Analisi di frequenza delle portate al colmo di piena" VAPI, (Valutazione delle Piene in Italia GNDCI-CNR), il Piano ha definito le aree a rischio di inondazione nelle ipotesi di eventi con tempo di ritorno di 200 anni. In figura 10.6 è rappresentata l'estensione di tali aree per la parte terminale del F. Cavone che interessa l'area al di sopra del giacimento salino.

10.5 Tabelle e figure

Figura 10.1 – Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani.

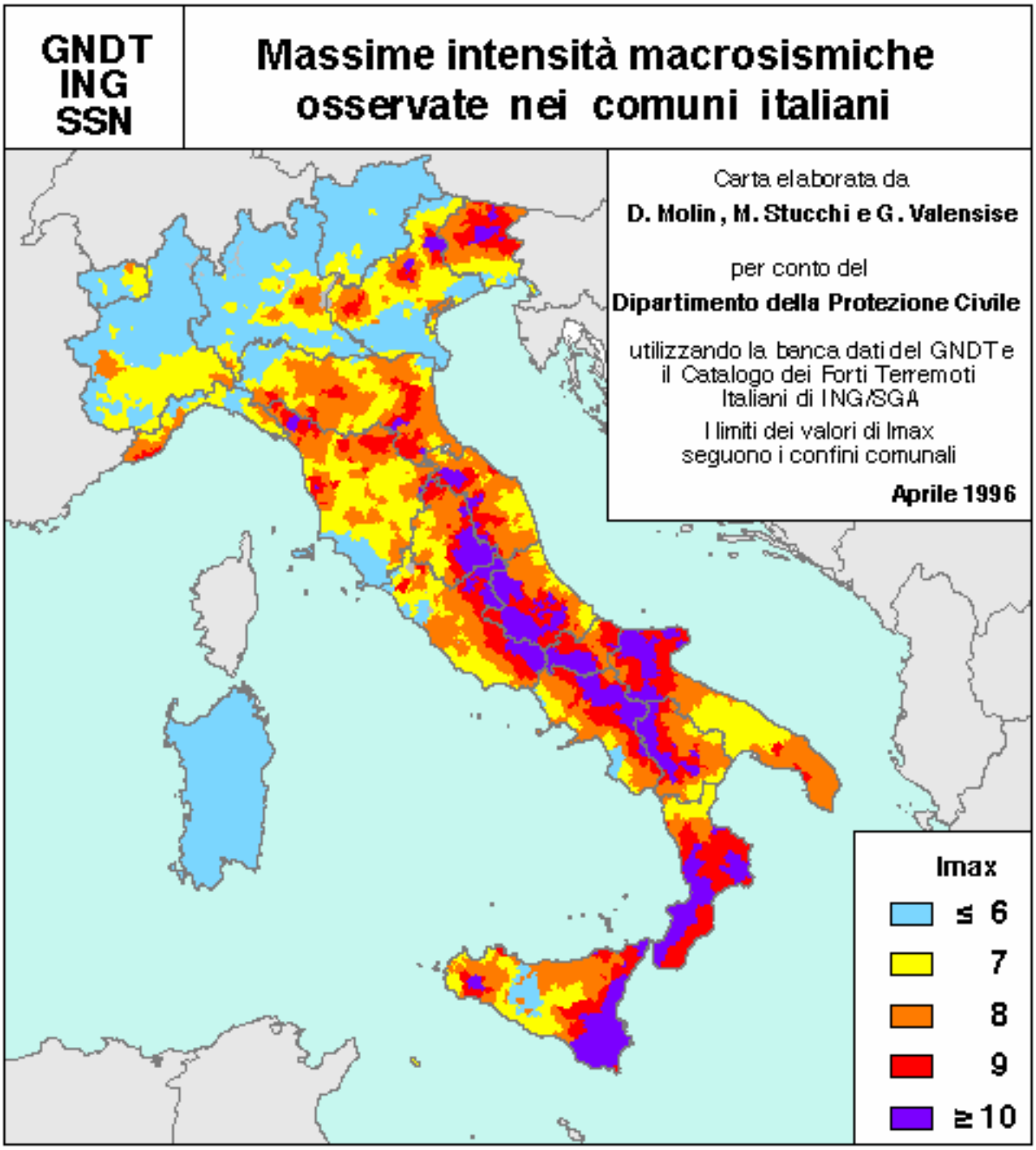


Figura 10.2 – Sezione geologica schematica del sito.

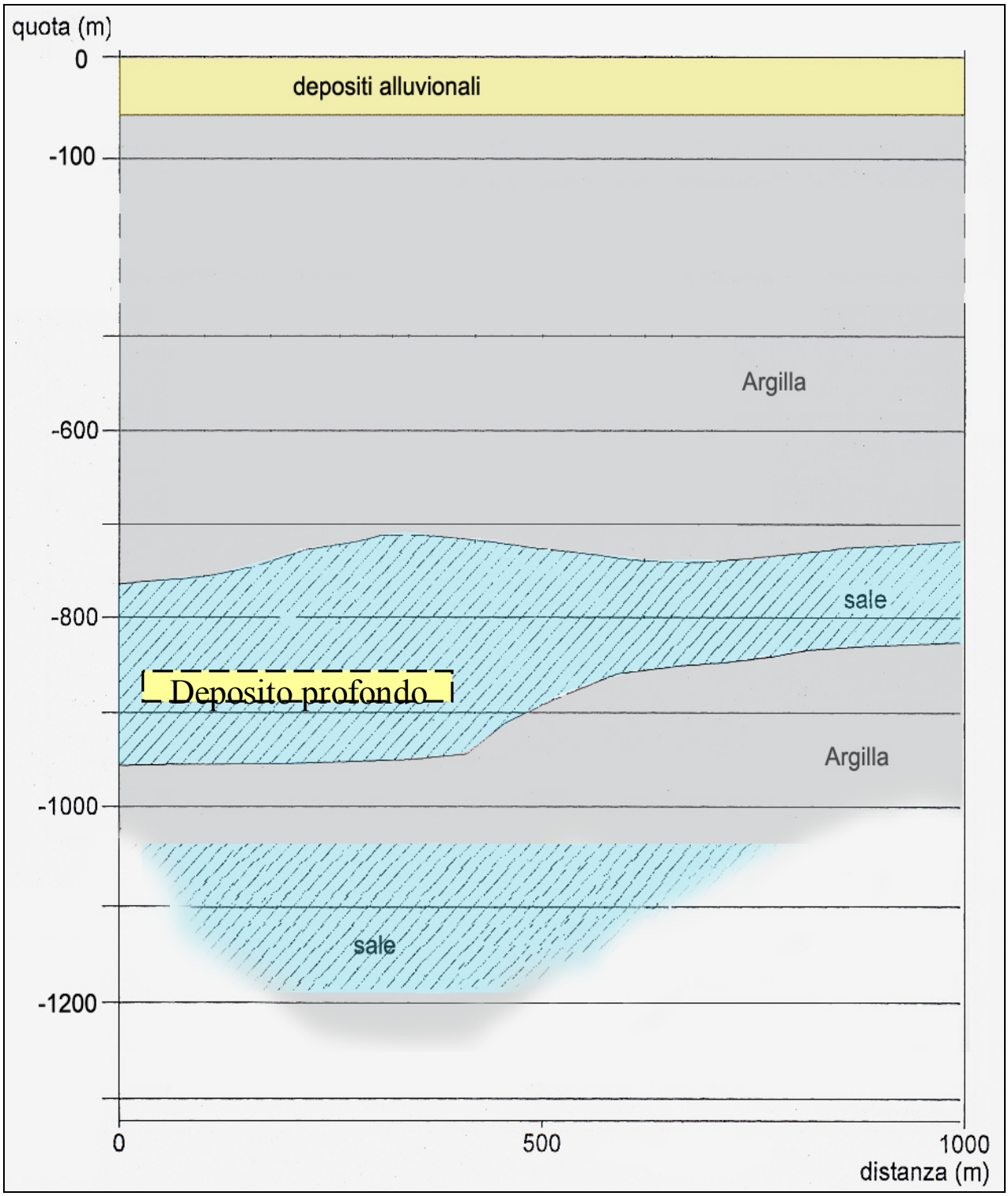


Figura 10.3 – Sequenza stratigrafica del sito.

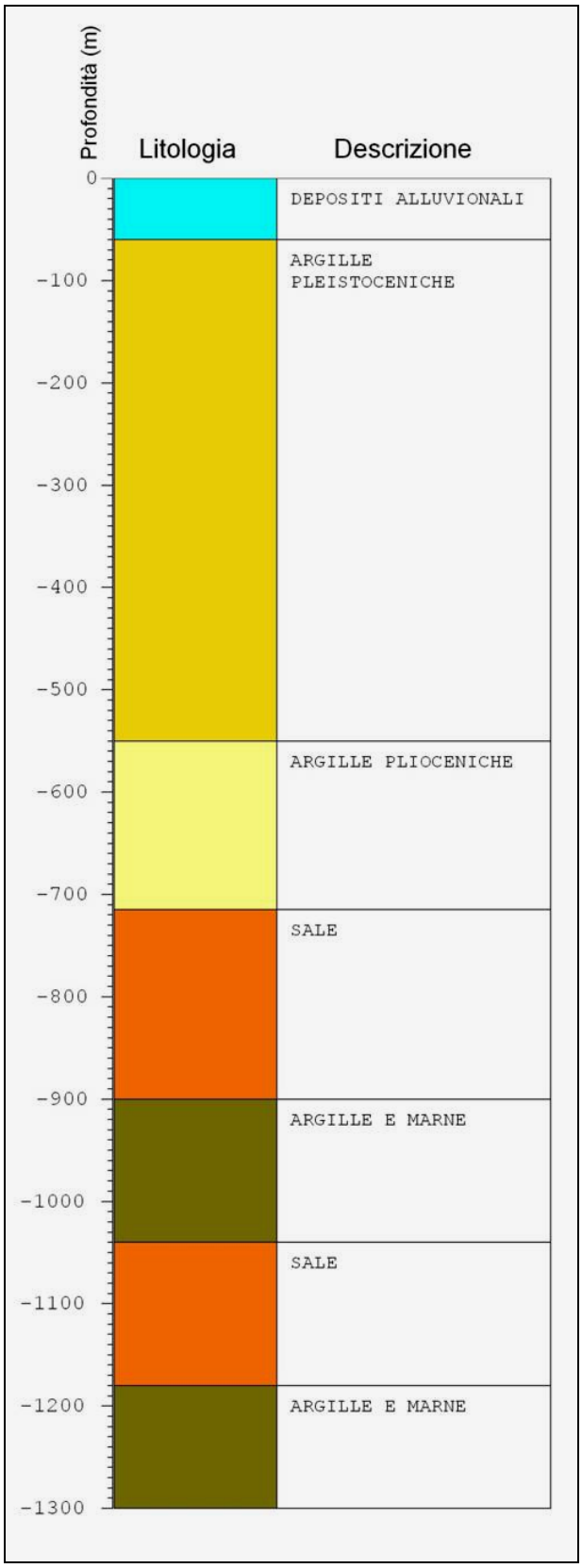


Figura 10.4 – Ricostruzione tridimensionale dell'area calabro-ionica.

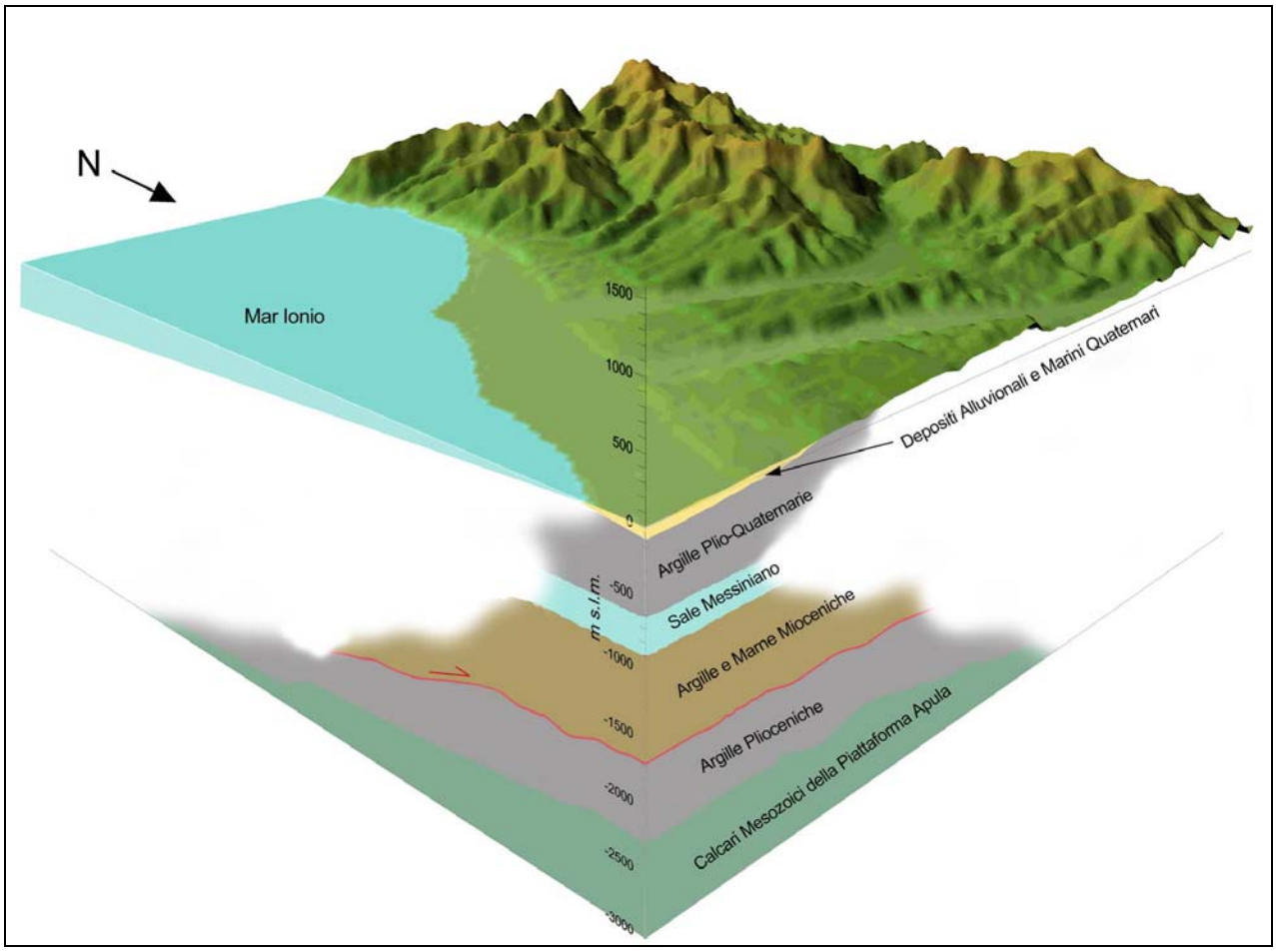


Figura 10.5 – Carta morfotettonica dell'area (da Bianca & Caputo, 2001).

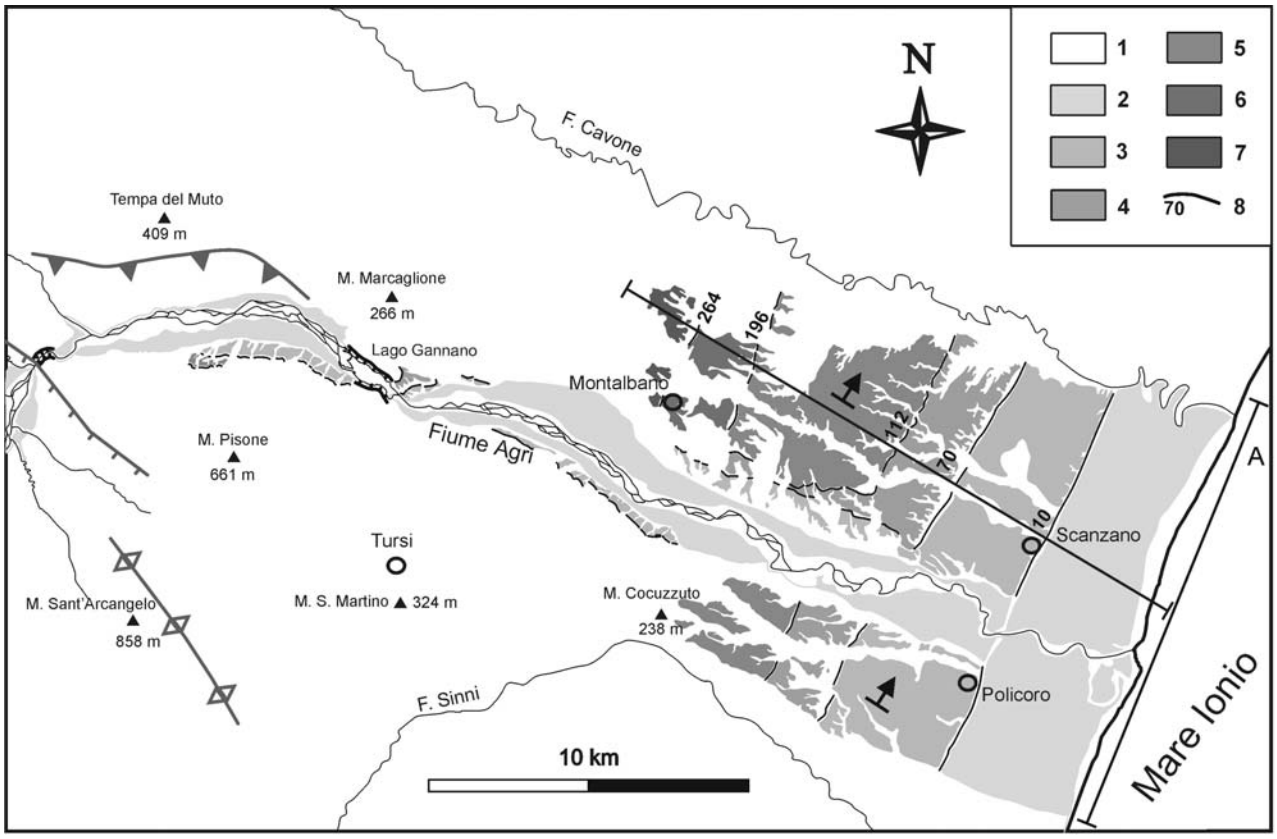
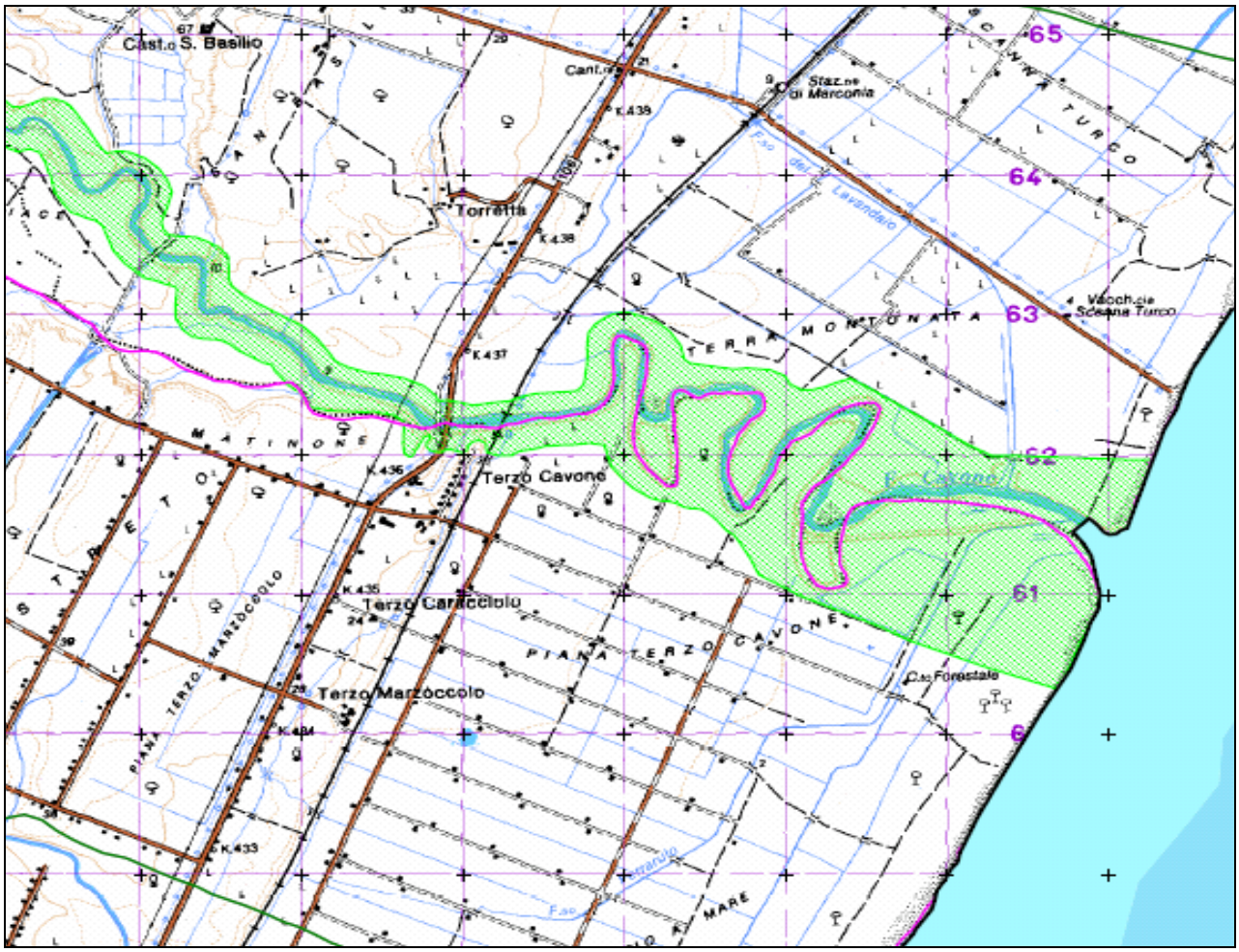
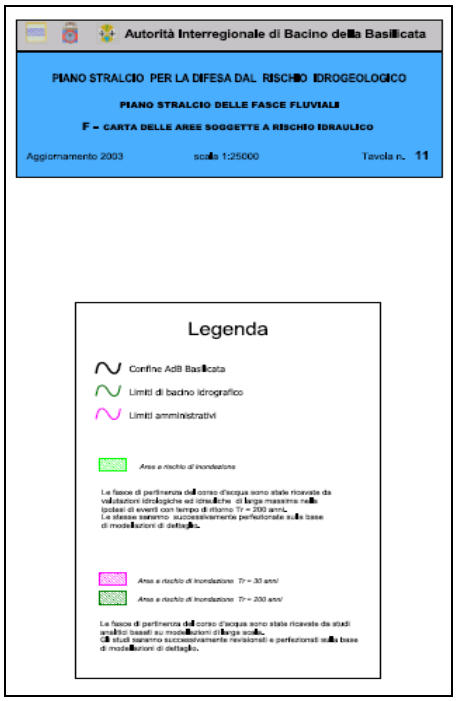


Fig. 1 - Carta morfotettonica della bassa Val d'Agri (Settore C). Legenda: 1 substrato dei terrazzi fluviali e marini quaternari; 2 terrazzo fluviale di ordine I e terrazzo marino di ordine I-m; 3 terrazzo fluviale di ordine II e terrazzo marino di ordine II-m; 4 - terrazzo fluviale di ordine III e terrazzo marino di ordine III-m; 5 - terrazzo marino di ordine IV-m; 6 terrazzo marino di ordine V-m; 7 terrazzo marino di ordine VI-m; 8 - bordo interno di terrazzo marino e/o fluviale, con relativa quota in metri s.l.m.

Figura 10.6 – Carta delle aree soggette a rischio idraulico nella zona di Scanzano Jonico.





11 CARATTERISTICHE AMBIENTALI E TERRITORIALI DELL'AREA DI SCANZANO JONICO

11.1 Vincoli ambientali e territoriali

L'area è interessata dai seguenti vincoli paesaggistico-ambientali:

- vincolo istituito ai sensi della Legge 1497/39 con D.M. 18/4/1985 (dichiarazione di notevole interesse pubblico del territorio della fascia costiera, del primo entroterra, delle colline e degli altipiani sito nei comuni di Montescaglioso, Bernalda, Pisticci, Montalbano Jonico, Policoro, Rotondella, Tursi, Scanzano e Nova Siri).

- vincolo istituito ai sensi della medesima legge 1497/39, per tutte le coste e i corsi d'acqua pubblici del territorio nazionale per gli effetti della legge 431/85 (rispettivamente 300 m dalla battigia e 150 m da ciascuna delle sponde), ove già non altrimenti vincolato.

11.2 Parchi e riserve naturali

Il 30% del territorio della Regione Basilicata è area protetta con un parco nazionale (Pollino) e due parchi regionali (Gallipoli Cognato - Piccole Dolomiti Lucane, Parco archeologico-storico nazionale delle Chiese rupestri del Materano) e sei riserve naturali regionali (Pantano di Pignola, Lago Piccolo di Monticchio, Abetina di Laurenzana, Lago Laudemio di Lagonegro, Bosco Pantano di Policoro e Oasi di San Giuliano).

Di seguito vengono elencate i parchi e le riserve naturali che interessano l'area del Metaponto. Queste sono tratte dall'elenco ufficiale delle aree naturali protette attualmente in vigore relativo al 5° Aggiornamento approvato con Delibera della Conferenza Stato Regioni del 24.7.2003 e pubblicato nel Supplemento ordinario n. 144 alla Gazzetta Ufficiale n. 205 del 4.9.2003.

- Riserva naturale Metaponto (superficie 240 ha) alla foce del fiume Bradano;
- Riserva naturale orientata Bosco Pantano di Policoro (superficie 500 ha) sopra la foce del Fiume Sinni

Va infine precisato che è in sede di verifica nazionale l'istituzione del Parco dell'Alta Murgia e in sede regionale la proposta di istituzione del Parco regionale dei Calanchi.

11.3 Rete Natura 2000

La direttiva "Habitat" rappresenta lo strumento per individuare azioni che consentano l'uso del territorio e lo sfruttamento delle risorse in una logica di sviluppo sostenibile per il mantenimento vitale degli ecosistemi.
Infatti vengono forniti indirizzi concreti per le azioni e per la costituzione di una rete europea "Natura 2000", di siti rappresentativi per la conservazione del patrimonio naturale di interesse comunitario.
L'attuazione delle politiche di conservazione del patrimonio naturale è stimolata anche tramite l'introduzione di appositi regolamenti finanziari che promuovono misure di sostegno per progetti finalizzati ed iniziative concrete per la conservazione di habitat e specie (Regolamento life).
Lo scopo della direttiva "Habitat" è quello di contribuire a salvaguardare la biodiversità mediante la conservazione degli habitat naturali e seminaturali nonché della flora e della fauna selvatica nel territorio comunitario.

Gli Stati Membri provvedono all'individuazione dei siti di importanza comunitaria (SIC), intesi come aree destinate a mantenere o a ripristinare un tipo di habitat naturale e seminaturale o una specie della flora e della fauna selvatica.
In particolare, a livello nazionale, saranno ritenuti prioritari:

- siti di importanza comunitaria localizzati all'interno di aree iscritte nell'elenco ufficiale delle aree protette;
- siti ad elevato grado di vulnerabilità (prossimi a complessi industriali, ambiti urbanizzati, ecc.);
- siti ricadenti all'interno di zone umide;
- siti costieri.

Va peraltro precisato che la rappresentazione cartografica di seguito allegata (figura 11.1) dei Siti di Importanza Comunitaria è stata redatta dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio – Direzione per la conservazione della natura.

Dall'analisi della cartografia risulta che i SIC di seguito elencati si trovano ubicati alle foci dei fiumi Cavone e Basento e interessano dune e pinete costiere.

- Costa Ionica Foce Cavone IT9220095
- Costa Ionica Foce Basento IT9220085

Infine la Rete Natura 2000, ai sensi della Direttiva "Habitat", è costituita dalle Zone Speciali di Conservazione (ZSC) e dalle Zone di Protezione Speciale(ZPS).
Attualmente la "rete" è composta da due tipi di aree: le Zone di Protezione Speciale, previste dalla Direttiva "Uccelli", e i Siti di Importanza Comunitaria (SIC). Si precisa che tali zone possono avere tra loro diverse relazioni spaziali, dalla totale sovrapposizione alla completa separazione.

Dall'analisi della cartografia allegata (figura 11.2) risulta che la Zona di Protezione Speciale Bosco Pantano di Policoro e Costa Ionica Foce Sinni IT9220055 ricade alla foce del fiume Sinni.

11.4 Zone archeologiche

Reperti archeologici attestano frequentazioni di genti in epoca antica. Nelle contrade di Termitito e di Andriace, infatti, sono state scoperte: anfore in ceramica, idrie e vasi in ceramica nera del miceneo (XIII-XI sec. a.C.) e nella zona del Cavone ceramiche del neolitico a bande rosse.
Verso il mare è ubicata la Torre detta Saracena, luogo d'avvistamento, edificata nel periodo aragonese e adibita poi a faro per i pescatori. Ha pianta quadrangolare e si erge con severo rigore a forma di piramide tronca.
In località Terzo Madonna si trova un'altra torre a forma cilindrica.
Nel centro cittadino di Scanzano è presente un grande palazzo baronale, detto "Palazzaccio" o "Castello di Scanzano".

11.5 Uso del suolo

Dal punto di vista dell'utilizzazione del suolo, i terreni della fascia costiera del Comune di Scanzano Jonico sono prevalentemente adibiti a utilizzazione forestale di bosco litoraneo aghifoglie appartenente alla fascia boscata retrodunale, e, all'interno, a utilizzazione agricola con oliveti, vigneti e frutteti nel fondovalle del fiume Cavone. (figura 11.3)

11.6 Popolazione

I dati relativi all'andamento demografico, disaggregati per singolo comune, evidenziano come il calo della popolazione residente sia un fenomeno riscontrabile in quasi tutti i comuni della provincia, con le uniche eccezioni del capoluogo e dei principali comuni costieri (Bernalda, Nova Siri, Policoro e Scanzano Jonico). La dinamica demografica positiva in questi casi, pur essendo imputabile principalmente all'andamento della componente autoctona, è stata sicuramente rafforzata da saldi migratori di segno positivo. Quest'ultimo fenomeno è attribuibile al fatto che questi comuni identificano le aree economicamente più vitali della provincia (il Materano da un lato ed il Metaponto dall'altro).

11.7 Bibliografia

1. APAT: Guida Tecnica n. 26 "Gestione dei Rifiuti Radioattivi"
2. SOGIN: Inventario dei materiali provenienti dalle centrali nucleari della SOGIN e destinati al deposito nazionale per i rifiuti radioattivi (Aprile 2003)
3. Task Force ENEA per il Sito Nazionale: "Inventario Nazionale dei Rifiuti Radioattivi – 2000 - 3° edizione"
4. ENEA/NUCLECO: Caratterizzazione radiologica mediante spettrometria gamma in sito degli impianti e laboratori ENEA (Dicembre 2000)
5. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-25 - ENEA Inventory Project 2001- Results of Saluggia data analysis – NAGRA, August 2001
6. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-29 - ENEA Inventory Project 2001- Results of Nucleco data analysis, Vol. 1 – NAGRA, October 2001
7. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-29 - ENEA Inventory Project 2001- Results of Nucleco data analysis, Vol. 2 – NAGRA, October 2001
8. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-30 - ENEA Inventory Project 2001- Results of Trisaia data analysis – NAGRA, November 2001
9. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-33 - ENEA Inventory Project 2001- Results of Casaccia data analysis – NAGRA, November 2001
10. D.F. McGinnes and F. Bruno: Project Report 01-38 - ENEA Inventory Project 2001- Results of CISAM, FIAT, FN and Ispra data analyses – NAGRA, December 2001
11. APAT: Inventario Nazionale dei Rifiuti Radioattivi (Gennaio 2003)
12. Rapporto del Gruppo di Lavoro sulle Condizioni per la Gestione in Sicurezza dei Rifiuti Radioattivi- Accordo Stato-Regioni del 4 novembre 1999- Conferenza Stato-Regioni, Gennaio 2001
13. IAEA Technical Report Series N. 389
14. U.S. NRC: NUREG CR-4101 "Assay of long lived radionuclides in low level wastes from power reactors", April 1985
15. EPRI NP 4037 Final Report "Radionuclide Correlations in low level radwaste", June 1985
16. SF-STAT, "A computer code for deriving scaling factors for Difficult-to-Measure (DTM) radionuclides in low level waste streams".

11.8 Tabelle e figure

Fig. 11.1 – Siti di importanza comunitaria (SIC) nell'area di Scanzano Jonico.

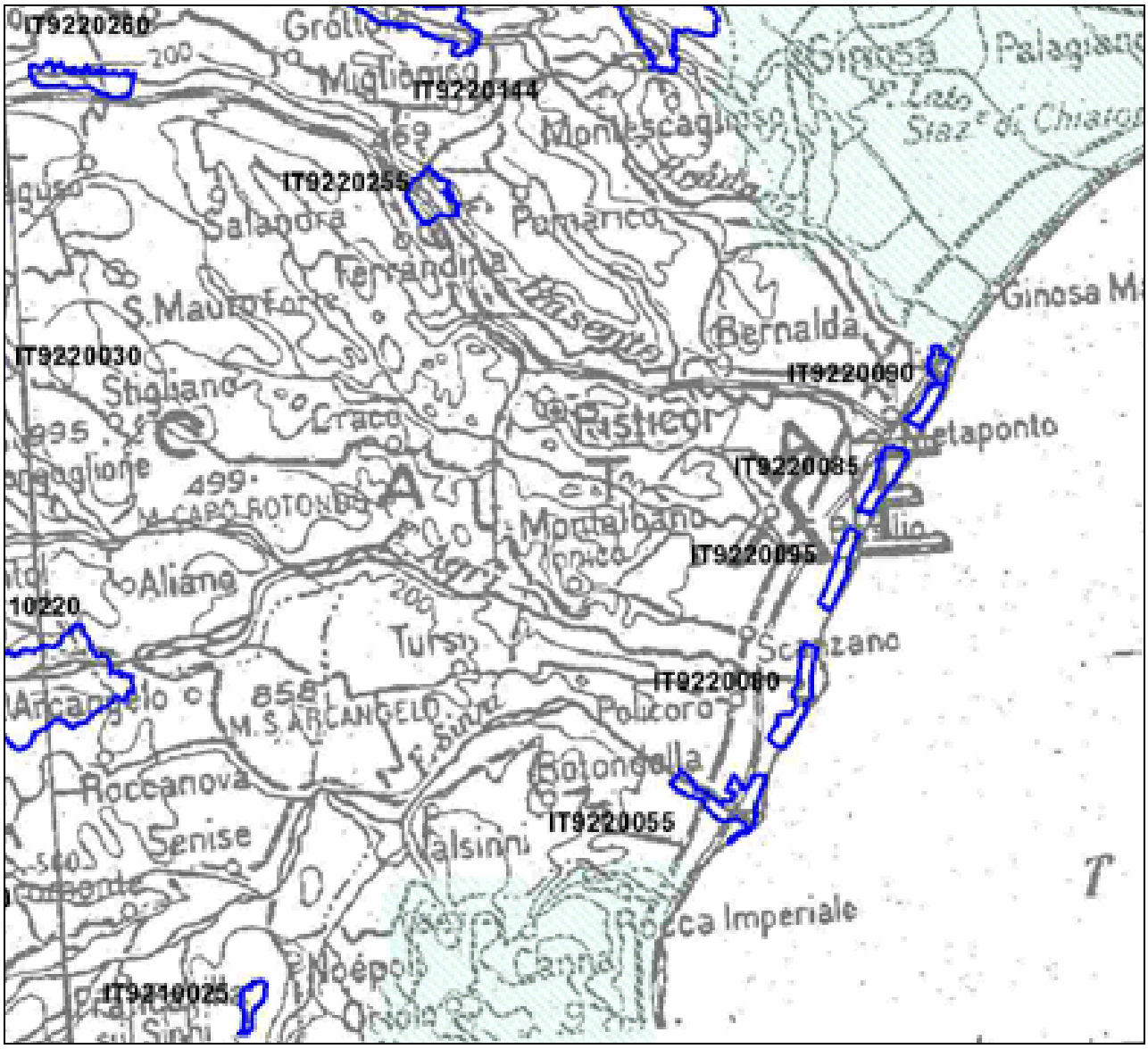


Fig. 11.2 – Zone di protezione speciale (ZPS) nell'area di Scanzano Jonico.

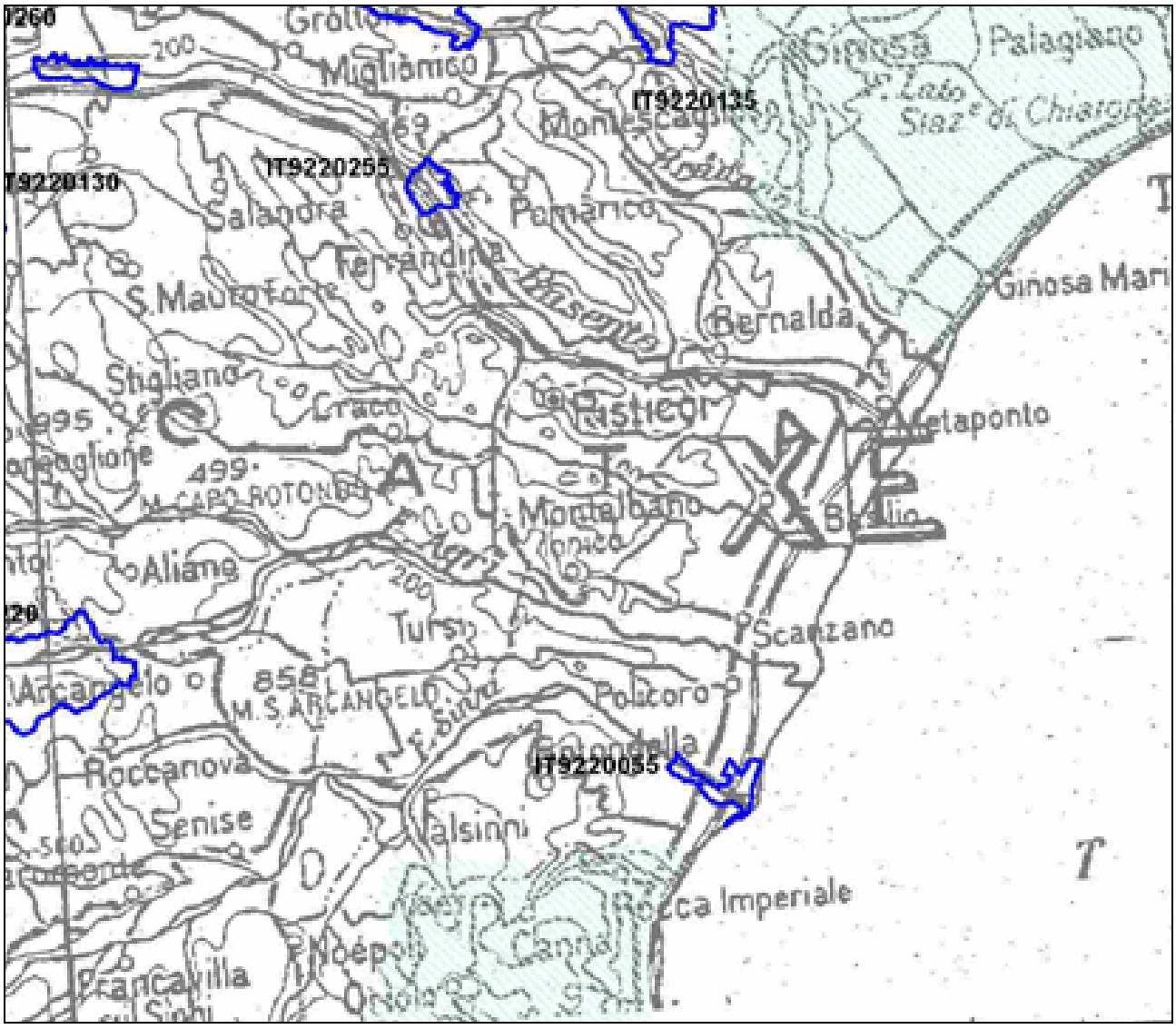
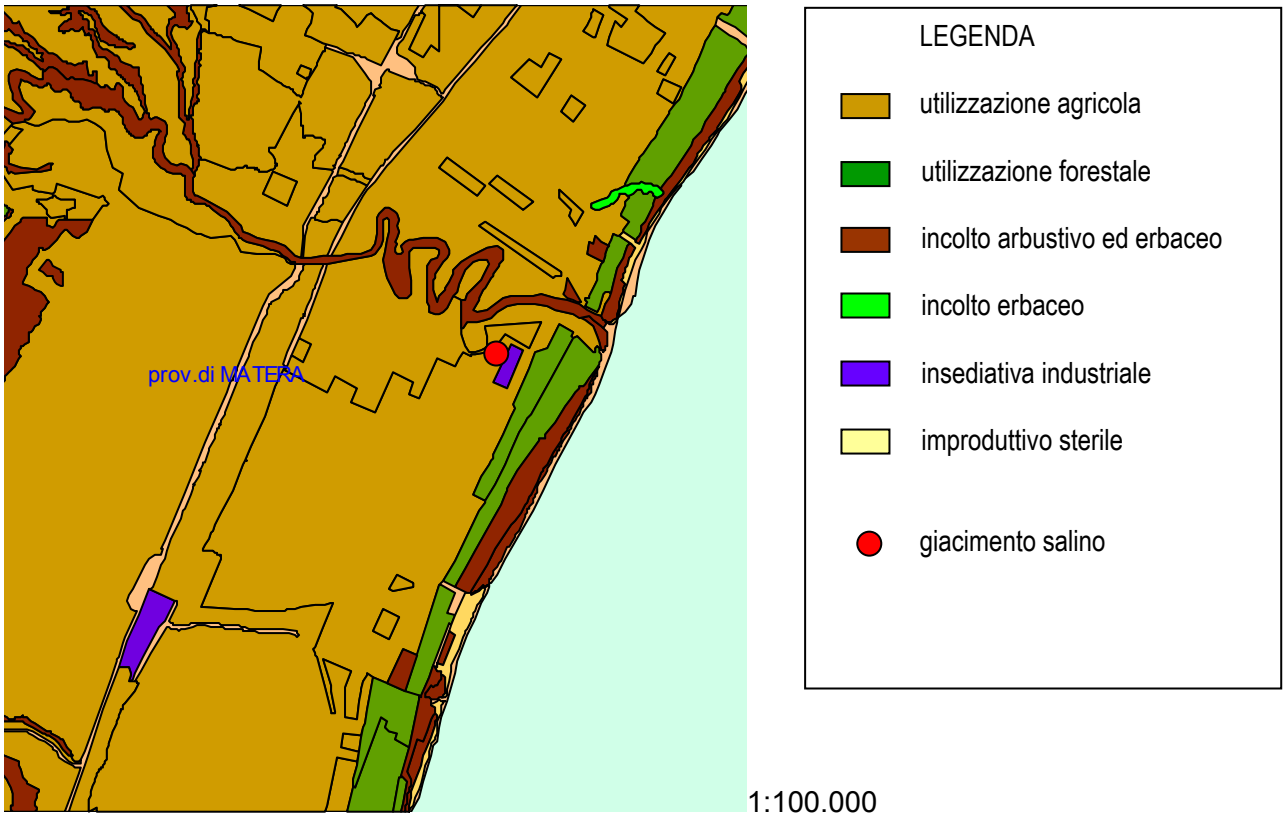


Fig. 11.3 – Uso del suolo nella zona di Scanzano Jonico (fonte: Piano Paesistico di Area Vasta Metapontino).



12 PIANO PRELIMINARE DI VALIDAZIONE DELLA SCELTA DEL SITO

La qualificazione definitiva del sito di Scanzano Jonico, ovvero la verifica della sua idoneità ad ospitare in assoluta sicurezza un deposito profondo per rifiuti di II categoria (medio/bassa attività) ed associato laboratorio sotterraneo di ricerca per rifiuti di III categoria, richiede una serie di attività raggruppabili nelle fasi di seguito sinteticamente descritte.

I FASE - Acquisizione dati riferiti a:

- dati geologici esistenti (studi, cartografia, profili sismici, etc.), con particolare riguardo a quelli elaborati da AGIP (e/o altre compagnie petrolifere), ENEL, Mining Italiana e SORIM, in parte già utilizzati per la scelta del sito di Scanzano Jonico;
- dati socio-antropici, piani territoriali e ambientali comunali provinciali e regionali;
- variazioni del livello del mare (maremoti, subsidenza, ecc.);
- dati idrologici e idrogeologici dell'area e dell'intorno significativo;
- dati sismici.

II FASE – Attività di caratterizzazione, progettazione e analisi di sicurezza preliminari

Attività di caratterizzazione

- Caratterizzazione fisico-geologica:
  - elaborazione dei dati geologici;
  - elaborazione dei dati geognostici per la caratterizzazione geotecnica
  - campagna di indagini dirette tramite perforazioni e prespezioni geofisiche;
  - indagini di sismica a riflessione ad alta risoluzione in 3D per la definizione di dettaglio della geometria delle strutture geologiche nel sottosuolo;
  - caratterizzazione delle formazioni saline e argillose.

- Caratterizzazione sismologica
  - esecuzione di indagini geofisiche ed in particolare di sismica a riflessione profonda sull'area vasta a completamento di quelle petrolifere e minerarie esistenti;
  - studio sismotettonico con definizione del terremoto e dello spettro di risposta sismica specifico di sito, sia in free-field che in profondità, da assumere quale input di progetto.

- Caratterizzazione idro-meteorologica e irogeologica
  - analisi dei dati idrologici e idrogeologici;
  - campagne di indagine idrologica e idrogeologica a scala locale e regionale;
  - analisi dei dati mete-climatici e studio degli eventi idro-meteorologici e meteo-marini estremi;
  - flussi e regimi delle circolazioni idriche superficiali e sotterranee;
  - effetti delle variazioni eustatiche sulle condizioni fisico-ambientali dell'area.

- Caratterizzazione geochimica delle formazioni costituenti la litostratigrafia dell'area, dei fluidi in esse presenti e dei relativi processi evolutivi;

– Caratterizzazione socio-antropica e ambientale

  - studio delle caratteristiche delle componenti ambientali e antropiche ai fini della valutazione dello stato *ante operam* (della popolazione e del comparto floro-faunistico).

Attività di progettazione:

– Studio e progettazione concettuale e di sistema per il deposito definitivo per la II Categoria:
  - architettura complessiva del deposito;
  - struttura del deposito;
  - impianti meccanici, elettro-strumentali e componenti;
  - adeguamento dei sistemi logistici a livello locale e regionale;
  - individuazione delle tecniche per la realizzazione, smaltimento dei materiali di risulta e individuazione degli accorgimenti per la minimizzazione dell'impatto delle opere sull'ambiente e per la mitigazione dell'impatto residuo;
  - materiali e tecniche per la recuperabilità dei rifiuti;
  - mantenimento delle informazioni relative al deposito.

– Studio e progettazione concettuale e di sistema per
  - il Laboratorio Sotterraneo di Ricerca (LRS) per il deposito definitivo dei rifiuti di III Categoria;
  - metodi per la sigillatura del deposito e relativa progettazione concettuale.

– Valutazione dei tempi e dei costi.

Analisi di sicurezza:

  - definizione degli scenari evolutivi del sistema deposito-sito;
  - valutazione mediante simulazioni matematiche e fisico-analogiche della rispondenza del progetto (inteso come complesso deposito-strutture geologiche di inserimento) in merito al confinamento e alla durata dello stesso dei materiali radioattivi per assicurare la protezione della popolazione e dell'ambiente nel medio e lungo termine.

I risultati progressivamente acquisiti saranno sistematicamente sottoposti al confronto con la comunità scientifica e gli organi deputati al controllo.

13 CONCLUSIONI

La necessità di rispondere alle richieste formulate dal Governo, e in particolare relative alla localizzazione urgente di un sito

- idoneo ad ospitare l'intero inventario dei rifiuti radioattivi italiani (bassa, media e alta attività);
- in grado di annullare l'impatto radiologico a lungo termine sull'ambiente e sulla popolazione;
- capace di ridurre al minimo i rischi associati ad eventi di origine naturale;
- insensibile ad eventi anche gravi di origine antropica.

ha portato ad identificare come unica soluzione proponibile quella di un deposito di tipo geologico, cioè in una formazione impermeabile e stabile nel lungo termine, in linea con le indicazioni delle linee guida internazionali.

I graniti, le argille e il salgemma rappresentano le formazioni geologiche ritenute idonee dalla comunità scientifica internazionale ad ospitare depositi geologici di rifiuti radioattivi.

Le condizioni della richiesta governativa e le caratteristiche delle formazioni geologiche potenzialmente idonee del territorio italiano portano all'individuazione dei giacimenti salini, isolati da sedimenti argillosi, quali corpi geologici ottimali per la realizzazione del deposito definitivo dei rifiuti radioattivi nazionali.

Il sito identificato nel territorio di Scanzano Jonico presenta per tutti gli aspetti citati caratteristiche di massima idoneità. La scelta sarà validata per il deposito per i rifiuti di II categoria e in prospettiva, attraverso un laboratorio sotterraneo di ricerca, per il depositi di rifiuti di III categoria.

Il deposito sotterraneo realizzato nel sito indicato è insensibile al rischio idraulico in quanto completamente isolato rispetto alla circolazione idraulica superficiale e di falda.

Le ridotte dimensioni delle infrastrutture di superficie richieste dalla tipologia di deposito prescelta sono tali da impattare al minimo anche su una situazione territoriale assoggettata a vincoli ambientali e di particolare pregio. Tale impatto potrà essere ulteriormente ridotto con l'adozione degli opportuni accorgimenti in fase progettuale ed esecutiva.

APPENDICI

A1. PRINCIPI DI SICUREZZA E CRITERI TECNICI PER LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI AD ALTA ATTIVITÀ IN FORMAZIONI GEOLOGICHE PROFONDE

A1.1 Principi di sicurezza (IAEA Safety Series n.99, 1989)

Principio N. 1: Carico alle generazioni future
Deve essere minimizzato il carico lasciato alle future generazioni, sistemando i rifiuti radioattivi ad alta attività in modo sicuro e in tempi appropriati, tenendo conto dei fattori tecnici, sociali ed economici (Principio ALARA)

Principio N. 2: Indipendenza della sicurezza dai controlli istituzionali
La sicurezza di un deposito per rifiuti radioattivi ad alta attività nel periodo posteriore alla chiusura non deve basarsi su monitoraggio e sorveglianza attiva, o su altri controlli istituzionali, o azioni equivalenti, dopo l'abbandono del controllo diretto del deposito stesso.

Principio N. 3: Effetti nel futuro
Il grado di isolamento dei rifiuti radioattivi ad alta attività deve essere tale che non possano essere previsti in futuro rischi per la salute dell'uomo, o conseguenze per l'ambiente, che oggi non sarebbero ritenuti accettabili.

Principio N. 4: Considerazioni transfrontaliere
Come principio di base, le strategie e i criteri di radioprotezione delle popolazioni al di fuori dei confini nazionali per il rilascio di sostanze radioattive non devono essere meno restrittivi di quelli adottati per le popolazioni all'interno dei confini nazionali.

Principio N. 5: Limiti di dose – condizioni di normale evoluzione
Per gli eventuali rilasci dal deposito dovuti a processi evolutivi naturali, la dose annua prevista agli individui del gruppo critico deve essere inferiore al limite di dose stabilito dall'Autorità Nazionale

Principio N. 6: Limiti di dose - scenari anomali, associati al verificarsi di eventi e processi improbabili
Il livello di sicurezza di un deposito per rifiuti ad alta attività deve essere tale che un eventuale rischio di effetto sulla salute in un anno su un individuo del gruppo critico per effetto di eventi anomali non inclusi nel Principio N. 5 sia inferiore ai limiti di rischio stabiliti dall'Autorità Nazionale.

Principio N. 7: Ulteriore principio di radioprotezione
Tutte le esposizioni alle radiazioni che potrebbero derivare dal deposito dei rifiuti radioattivi ad alta attività devono essere mantenute al più basso livello ragionevolmente possibile, tenuto conto dei fattori sociali ed economici (Principio ALARA).

A1.2 Criteri di tipo tecnico

Criterio N. 1: Approccio globale del sistema
La sicurezza a lungo termine dello smaltimento dei rifiuti radioattivi ad alta attività deve essere basata sul concetto multibarriera, e deve essere validata sulla base delle prestazioni dell'intero sistema nel suo complesso.

Criterio N. 2: Inventario radiologico
I criteri di accettazione del sito devono essere commisurati all'inventario radiologico di riferimento.

Criterio N. 3: Forma del rifiuto
I rifiuti radioattivi ad alta attività destinati al deposito devono essere in forma solida, con proprietà fisiche e chimiche tali da favorire la ritenzione dei radionuclidi, e compatibili con il sistema di deposito.

Criterio N. 4: Periodo iniziale di isolamento
Il sistema di smaltimento dei rifiuti radioattivi ad alta attività deve essere progettato in modo tale che sia garantito il completo isolamento dei radionuclidi per un periodo iniziale.

Criterio N. 5: Progetto e costruzione del deposito
Il deposito per rifiuti radioattivi ad alta attività deve essere progettato, realizzato, operato e chiuso in modo tale che siano preservate le giunzioni di sicurezza post-chiusura della formazione ospite e dei suoi dintorni.

Criterio N. 6: Criticità nucleare
Il deposito per rifiuti radioattivi ad alta attività deve essere progettato, e i rifiuti sistemati, in modo tale che tutte le materie fissili rimangano in una configurazione intrinsecamente sottocritica.

Criterio N. 7: Geologia del sito
Il deposito deve essere situato a profondità sufficiente per proteggere in modo adeguato i rifiuti dagli eventi e dai processi esterni, in una formazione ospite avente proprietà tali da minimizzare adeguatamente il deterioramento delle barriere fisiche e il trasporto dei radionuclidi dal deposito all'ambiente.

Criterio N. 8: Considerazione delle risorse naturali
Il sito del deposito deve essere scelto, per quanto possibile, in modo da evitare contiguità con risorse naturali di valore, o di materiali che non sono facilmente ricavabili altrove.

Criterio N. 9: Dimostrazione della sicurezza
La rispondenza dell'intero sistema di deposito con gli obiettivi di sicurezza e radioprotezione deve essere dimostrata per mezzo di analisi di sicurezza basate su modelli il più possibile validati.

Criterio N. 10: Assicurazione della qualità
Deve essere stabilito e attuato un programma di assicurazione della qualità per i componenti del sistema di deposito, e per tutte le attività dalla validazione del sito alla costruzione e operazione e alla chiusura del deposito,allo scopo di assicurare la congruenza con i relativi standard e criteri.

A2. PROPRIETÀ DI ISOLAMENTO DELLE FORMAZIONI ARGILLOSE

A2.1 Gli analoghi naturali

Lo smaltimento geologico rappresenta l'unica prospettiva attuale reale di eliminazione definitiva dei rifiuti radioattivi di III categoria. Oltre che per la natura delle formazioni ospiti, il termine "geologico" sottende anche tempi "geologici" di isolamento. Nei fatti i tempi in causa sono computati sull'ordine di grandezza dei centomila anni.

Dimostrazioni della capacità di isolamento e della persistenza di tale capacità delle formazioni geologiche non possono essere ottenute con l'estrapolazione a tempi lunghissimi dei risultati conseguiti in ricerche condotte in tempi limitati su campioni, superfici e volumi ridotti rispetto a quelli in gioco nell'isolamento geologico.

Il problema è stato superato negli anni Ottanta con il ricorso allo studio degli *Analoghi Naturali*. Per analoghi naturali si intendono gli elementi presenti nell'ambiente naturale per i quali si possono pensare comportamenti simili a quelli dei radionuclidi contenuti nei rifiuti radioattivi. Ad esempio l'uranio per il plutonio. Tale comportamento può essere studiato nell'ambiente naturale in condizioni di normalità o sotto condizioni di perturbazione verificatesi in passato analoghe a quelle che possono essere immaginate in futuro a carico di un deposito.

Studi sugli analoghi sono stati svolti con ricerche prevalentemente condotte nell'ambito delle azioni della Comunità Europea. Le conclusioni di tali ricerche furono che lo smaltimento geologico è certamente una soluzione affidabile per l'eliminazione del problema posto dall'esistenza dei rifiuti. I temi sviluppati per la dimostrazione delle prestazioni delle formazioni geologiche furono:

- comportamento geochimico di radionuclidi naturali, o di corrispettivi stabili dei radionuclidi dei rifiuti, all'interno di formazioni prese in considerazione per lo smaltimento;
- capacità di isolamento idraulico e geochimico delle stesse formazioni;
- effetti di agenti di potenziale alterazione di tale capacità.

Le ricerche sugli analoghi, condotte al tempo in Italia sulle formazioni argillose, dimostrarono l'elevata (praticamente assoluta) capacità di isolamento di tali formazioni nei riguardi di un possibile deposito di rifiuti a lunga vita costituito in parti profonde delle stesse.

I risultati di tali ricerche hanno rappresentato in pratica la prima pubblicazione in merito della CE ("Benvegnù F., Brondi A., Polizzano C., 1988. "*Natural analogues and evidence of long-term isolation capacity of clays occuring in Italy".* Contribution to the demonstration of geological disposal reliability of long-lived wastes in clay. Directorate-General Science, Research and Development. Commission of the European Communities. EUR 11896 EN. Office for Official Publications of the European Communities, L-2985, Luxembourg).

Le acquisizioni sulle proprietà di barriera verificate sulle argille italiane hanno indotto il governo francese, orientato alla valutazione delle prestazioni dei graniti, ad estendere il proprio impegno di ricerca anche in direzione delle argille, oggi obiettivo primario di quel paese.

Le prestazioni delle formazioni argillose, positivamente riconosciute per l'eliminazione dei rifiuti di III categoria, valgono a maggior ragione per l'isolamento in sicurezza dei rifiuti a bassa attività e vita breve. La persistenza della capacità di isolamento nei riguardi dei primi rifiuti è condizionata dall'evoluzione geologica generale del sito di ubicazione del deposito. Per gli altri rifiuti, essendo il deposito concepito per una realizzazione a bassa profondità, il fattore di potenziale destabilizzazione è l'evoluzione morfologica in condizioni di normalità o di alterazione a seguito

di possibili variazioni climatiche. Minimo o inesistente è in questo caso il ruolo di potenziale destabilizzazione giocato dai fattori di evoluzione geologica.

A2.2 Capacità di barriera delle argille

Uno dei dubbi più ricorrenti circa la reale capacità d'isolamento a lungo termine delle argille è la possibilità di migrazione dei radionuclidi verso la biosfera per condizioni di permeabilità primaria, di fratturazione e per discontinuità tettoniche. La modellistica idrogeologica ha spesso ammesso, o semplicemente ipotizzato, tale possibilità, spesso in astrazione e contro evidenze reali dell'efficacia delle barriere naturali. L'uso di modelli, svincolato da verifiche sperimentali in condizioni adeguate o da osservazioni in campo, ha spesso generato dubbi sull'effettività della capacità di barriera idraulica delle argille per l'arco temporale del necessario isolamento dei rifiuti. Uno degli assunti della modellazione idrologica è, ad esempio, la permeabilità per fratturazione e per fagliazione, situazioni idrauliche non rilevate dalle osservazioni in campo e in sotterraneo. La mancanza di associazione dei caratteri geochimici delle argille ai caratteri idrologici ha lasciato in disparte l'altra proprietà, in massimo grado posseduta dalle argille, di agire come barriera geochimica assolutamente efficace nei riguardi di due dei radionuclidi di riferimento quali componenti di rifiuti radioattivi, il cesio e il plutonio e, in termini più estesi, gli attinidi. Occorre precisare che la capacità di controllo geochimico espletate dalle argille nei riguardi dei radionuclidi, così come nei riguardi della maggior parte degli elementi e composti inorganici e organici, viene efficacemente esercitata anche in sistemi idraulicamente aperti. Ad esempio, molti giacimenti di uranio si costituiscono in sedimenti permeabili nei quali i valori del potenziale di ossidoriduzione è simile a quello posseduto in massa dalle formazioni argillose e dai livelli sabbiosi, isolati dalle acque superficiali e di falda, in esse intercalati.
Di seguito vengono descritti alcuni risultati positivi degli studi condotti sulle capacità di barriera delle argille italiane rispetto ad alcuni aspetti portanti quali:

- capacità di barriera idraulica;
- capacità di barriera geochimica;
- combinazione delle due capacità.

A2.2.1 Capacità di barriera idraulica

La verifica della capacità di barriera idraulica delle argille è stata condotta con osservazioni dirette su argille in affioramento e, in sotterraneo, in gallerie minerarie e stradali. Studi sono stati effettuati anche su condizioni di sollecitazioni estreme delle argille ad opera dei vapori geotermici e di un'intrusione vulcanica all'interno di un banco di argilla. Quest'ultimo caso ha anche offerto l'opportunità di riscontrare direttamente l'effetto del riscaldamento termico a carico delle argille inglobanti. È stato per questa via verificato che la capacità di isolamento di una massa argillosa non viene sostanzialmente diminuita per la variazione dei caratteri originari della stessa al contorno dei corpi riscaldanti. Il comportamento del gas di provenienza profonda, l'elio, il gas inerte e più mobile in assoluto, dimostra l'impermeabilità di massa delle serie argillose.

A2.2.1.1 Osservazioni in superficie

Le argille in affioramento appaiono vistosamente resecate da fratture normali alla superficie. Il colore giallo, esteso per pochi centimetri in senso normale alle fratture stesse e conferito da processi di ossidazione delle salbande delle fratture, evidenzia una penetrazione verso il basso delle acque di superficie fino alla profondità massima di 10-15 metri senza interessare le parti più profonde delle fratture. Tali strutture continuano infatti, con tutta evidenza, verso il basso senza mostrare variazioni del colore grigio originario. Nei casi in cui le argille siano sottoposte al

carico di soprastanti masse litologiche, le fratture preesistenti rimangono chiuse e impenetrabili all'acqua.
Il meccanismo che giustifica la situazione di diversa penetrazione idraulica nei due casi è il seguente:

- la tettonica regionale determina la formazione di fratture e faglie nelle masse delle argille; il sollevamento orogenico trasporta le masse argillose in zona di erosione;
- private per grande estensione della copertura originaria, le argille vanno soggette a decompressione con l'effetto della formazione di nuove fratture, normali alla superficie topografica, che si incrociano con le fratture preesistenti;
- l'acqua di superficie penetra nelle fratture che si aprono fino alla profondità di 10-15 metri sopra indicata e ne ossida le salbande;
- al di sotto di tale profondità le argille mantengono, nonostante la continuità delle fratture, la permeabilità originaria.
- Le fratture delle argille sotto carico litostatico non si aprono e non sono quindi sede di permeazione idrica.
- I piani di *faglia* non sono sede di permeazione idrica. Tale condizione si verifica sia per le faglie dirette, sia per quelle indirette.
- L'elevata plasticità delle argille previene la costituzione di una condizione di permeabilità lungo i piani di faglia.

A2.2.1.2 Osservazioni in sotterraneo

Le informazioni ricavate da società che hanno realizzato gallerie per infrastrutture stradali e ferroviarie in argilla indicano che, tranne che in casi molto specifici, non è stata riscontrata alcuna infiltrazione d'acqua prima del contatto con formazioni permeabili, sede anche di elevatissime pressioni idrauliche, o prima dell'avvicinamento alla superficie topografica. L'esistenza di fratture di decompressione alla superficie di complessi argillosi privati del precedente carico litostatico dall'erosione crea infatti una permeabilità secondaria. L'estensione di tali fratture verso il basso non supera ordinariamente, come precedentemente detto, i dieci metri. La galleria di Pasquasia, ad esempio, attraversa argille intensamente fratturate, ma le fratture sono completamente asciutte.
Osservazioni dirette hanno potuto accertare, anche in questo caso, che le faglie in argilla non sono sede di veicolazione d'acqua.

A2.2.1.3 Intrusione magmatica in argilla

L'intrusione di un piccolo vulcano all'interno di argille del volterrano ha provocato la trasformazione di argille per due metri di spessore in altra roccia, con perdita di acqua e trasformazione di minerali argillosi in altri minerali argillosi per lo spessore di altri dieci metri. Oltre tale alone di alterazione-trasformazione non si è riscontrato traccia di passaggio di fluidi attivati dal corpo intruso.

A2.2.1.4 Campi geotermici

Prodotti idrotermali (sorgenti calde, travertino, cinabro) in Val d'Orcia e nella Valle del Paglia, connessi alla presenza di campi geotermici in profondità, vengono a giorno ai lati del complesso argilloso che riempie le valli, solo là dove, ordinariamente, le argille tendono a passare a sabbie. Nessun prodotto idrotermale è stato riscontrato in corrispondenza della parte centrale del bacino occupata da sedimenti prevalentemente argillosi.
Da informazioni assunte in sede appropriata risulta che uno spessore di cinquanta metri di argilla costituisce una barriera assoluta contro la migrazione verso l'alto di fluidi ad alta temperatura (150-250° C) e ad alta pressione (40-60 ata).

A2.2.1.5 Venuta a giorno di elio

L'elio è un elemento che si origina nel mantello. Ha il più piccolo raggio atomico ed è chimicamente inerte. E' pertanto l'elemento più mobile in assoluto rispetto a tutti gli altri della tavola periodica degli elementi. Riesce ad attraversare le argille là dove sono perturbate anche dove altri elementi non possono transitare. Numerose aree ad affioramento zero dell'elio di origine profonda caratterizzano comunque le parti centrali dei bacini argillosi.

A2.2.2 Capacità di barriera geochimica

Due sono i meccanismi operanti per tale capacità:

- la capacità di cattura e ritenzione da parte dei minerali argillosi;
- il potenziale di ossido-riduzione delle formazioni argillose.

A2.2.2.1 Capacità di cattura e ritenzione

Studi di geochimica hanno ampiamente dimostrato l'elevatissima capacità di cattura di ioni, composti e sostanze organiche che, idricamente veicolati, vengano in contatto con minerali argillosi. Le argille sono prevalentemente costituite da minerali argillosi. Le formazioni argillose sono pertanto dotate di una capacità di cattura praticamente illimitata. Nel caso della mobilizzazione per ossidazione di vari elementi nelle salbande di ossidate indicate nella precedente descrizione delle fratture, la capacità di cattura ne ha prevenuto l'allontanamento

A2.2.2.2 Potenziale di ossido-riduzione

Le argille hanno acquisito valori di potenziale da bassi a negativi al momento del loro accumulo nei bacini sedimentari. Tale carattere chimico, mantenuto anche dopo il sollevamento dei complessi argillosi sul continente, assicura la formazione e la persistenza di un elemento stabile in fase ridotta come l'uranio, analogo naturale dell'omologo artificiale del plutonio. Studi di geochimica hanno verificato la pratica immobilità di tale elemento all'interno delle formazioni argillose. Ove mobilizzato per la variazione verso le condizioni ossidanti che si realizzano per la penetrazione delle acque atmosferiche nelle parti delle argille interessate dalla fratturazione da decompressione superficiale, l'uranio viene comunque bloccato dalla capacità di ritenzione e cattura esercitata dai minerali argillosi. La bassa permeabilità previene la possibilità di ossidazione perfino di piccoli livelli di argille inglobati in depositi sabbiosi anche in condizioni di esposizione estrema al potere di ossidazione delle acque di falda in circolazione.

A2.2.3 Combinazione delle due barriere idraulica e geochimica

La distruzione dei materiali legnosi accumulati nei bacini sedimentari avviene nell'ambiente ossidante per azione della demolizione esercitata dai batteri. Un rapido seppellimento in argilla previene tale demolizione.

A2.2.3.1 La foresta fossile di Dunarobba

Le argille lacustri di Dunarobba, vecchie di alcuni milioni di anni, hanno mantenuto come legno fresco tronchi e detriti di una foresta che cresceva nelle acque basse dell'antico bacino del Tevere.
La bassa permeabilità (barriera idraulica) ed il basso potenziale di ossido-riduzione (barriera geochimica) delle argille hanno impedito la penetrazione delle acque meteoriche prevenendo l'insorgenza di condizioni ossidanti, demolitrici della sostanza organica. I materiali legnosi, ori-

ginariamente inglobati nei soprastanti depositi sabbiosi, sede di circolazione delle acque di origine meteorica e completamente ossidati, sono stati precocemente distrutti. La condizione chimico-fisica riducente, che ha permesso la conservazione dei tronchi fossili, garantisce anche la completa immobilità di uranio e transuranici.
Al tempo dello studio della foresta, condotto come contributo alla validazione del concetto di smaltimento geologico, fu formulata la conclusione seguente: se un materiale deperibile come il legno è stato conservato per le capacità di isolamento a lungo termine e per le normali condizioni di ambiente chimico-fisico proprie delle argille, perché mai dovrebbe essere distrutto un materiale stabile come il vetro con liberazione dei radionuclidi in esso dispersi?

A3. IL MODULO DI DEPOSITO

A3.1 Il modulo di deposito tipo

I moduli da impiegare come contenitori finali da inserire nel deposito devono possedere doti di resistenza meccanica, confinamento e durabilità, nelle specifiche condizioni del deposito, per assicurare la recuperabilità in condizioni di sicurezza per il periodo assunto come riferimento nel progetto (100 anni).

Il modulo di deposito assunto come riferimento nel presente studio è costituito da una struttura scatolare parallelepipeda chiusa da un coperchio sigillato avente dimensioni interne tali da poter ospitare diverse tipologie di manufatti condizionati in malta cementizia.

Moduli di questo tipo (CBF-K) sono stati progettati dalla società francese Sogefibre che li ha realizzati impiegando uno speciale fibrocemento[15]. I suddetti moduli sono stati successivamente qualificati per garantire il contenimento e le proprietà meccaniche in depositi di tipo superficiale per una durata di 300 anni.

Nel 1995 la Nuclear Regulatory Commission, l'ente di controllo USA, ha certificato tale modulo come "Multi-Use Container".

Lo schema del modulo Sogefibre è mostrato nelle figure A3.1 e A3.2

A3.2 Caratteristiche del modulo tipo

Le dimensioni del modulo di riferimento sono riportate nella tabella A3.1. E' garantito uno spessore minimo delle pareti di almeno 100 mm; il peso del contenitore vuoto è di 4275 kg.

Il modulo di deposito è realizzato con una matrice di cemento rinforzata con speciali fibre metalliche inossidabili che, rispetto alle armature impiegate nei conglomerati cementizi tradizionali, danno al fibrocemento una serie di vantaggi:

- distribuzione isotropica del metallo
- materiale meno fragile e più duttile
- minore micro-cracking

La matrice è costituita da cemento con ceneri volanti, additivi e miscele di sabbia. La granulometria della sabbia è selezionata per migliorare la lavorabilità dell'impasto e per ridurre al minimo gli interstizi che normalmente sono presenti tra il cemento e la sabbia normale.
Le fibre metalliche, prodotte dalla società Fibraflex, sono fabbricate mediante raffreddamento rapido (circa un milione di gradi centigradi al secondo) mediante un getto di acqua in pressione diretta verso una colata di metallo fuso sopra un disco rotante ad alta velocità. Il materiale risultante è costituito da strisce metalliche aventi una struttura non cristallina (amorfa) costituita da ferro, carbonio e cromo.
Questo speciale tipo di fabbricazione conferisce alle fibre metalliche elevate caratteristiche di resistenza meccanica, elasticità e resistenza alla corrosione. In particolare, il cromo in forma amorfa conferisce passività alla lega conferendo caratteristiche di inossidabilità più elevate comparate all'acciaio generalmente adoperato per le armature nel cemento. Nelle tabelle A3.2 e A3.3 sono riportate alcune delle caratteristiche fisiche ed elettrochimiche delle fibre metalli-

[15] La produzione di tali moduli è iniziata nel 1990 al ritmo di circa 12000 per anno.

che; in tabella A3.4, A3.5, A3.6, A3.7 sono riportate le proprietà meccaniche e fisiche, le proprietà di contenimento e la resistenza alle radiazioni del fibrocemento.

A3.3 Test di qualifica

I moduli sono stati progettati per mantenere l'integrità per tutto il periodo di controllo istituzionale per la messa a deposito di rifiuti a bassa e media attività in depositi superficiali (300 anni). Oltre che per la messa a deposito, i moduli sono anche validati come contenitori ad alta integrità idonei al trasporto. I test sono stati fatti eseguire dall'ANDRA e hanno riguardato:

- resistenza meccanica
- resistenza al microcracking
- proprietà di schermaggio delle radiazioni
- durabilità almeno secolare.

Per verificare l'integrità del modulo Sogefibre per un periodo di 300 anni sono stati effettuati studi e simulazioni su modelli elaborati per la migrazione dei radionuclidi nella matrice cementizia. Sulla base dei risultati dei test di qualifica, i contenitori cubici CBF-K hanno ricevuto la certificazione ANDRA nel settembre del 1991. Nella tabella A3.7 sono riportate le specifiche ANDRA per i contenitori in fibrocemento.

A3.4 Bibliografia

1. IAEA – TECDOC 1187 – Retrievability of high level waste and spent nuclear fuels – IAEA, Vienna, 2000
2. European Commission Project Report EUR 19145 EN "Concerted Action on the Retrievability of Long Lived Radioactive Waste in Deep Underground Repositories", 2000
3. NEA/OECD - Reversibility and Retrievability in Disposal of Radioactive Waste: Reflections at the International Level – Paris, 2001.
4. TNO-NITG Information (December 2001) : Retrievable disposal of radioactive waste in the Netherlands

A3.5 Tabelle e figure

Figura A3.1 - Schema del modulo di deposito.

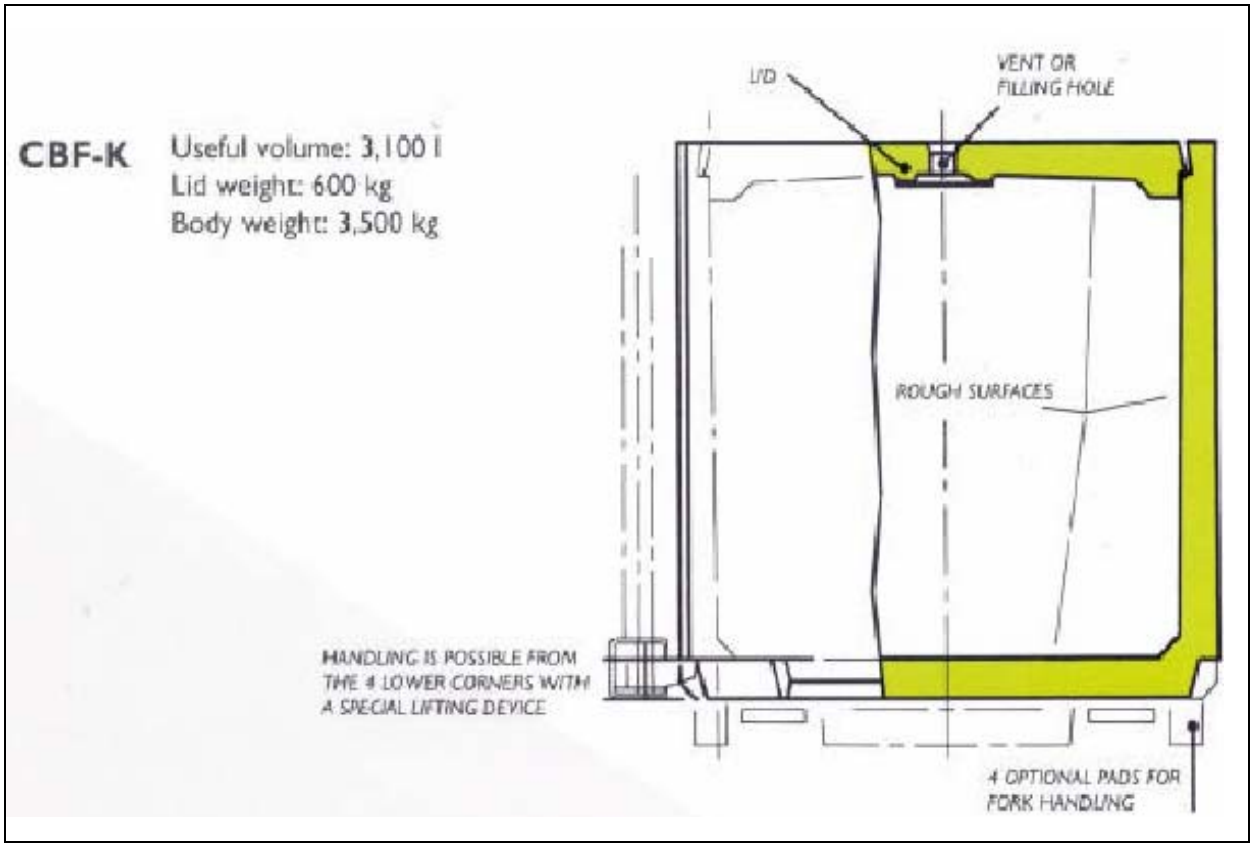


Figura A3.2 - Modulo CBF-K vuoto (sezionato).

Figura A3.3 - Movimentazione dei moduli con apposito dispositivo di aggancio.

Tabella A3.1 – Dimensioni del modulo CBF-K.

	Dimensioni esterne	Dimensioni interne
Altezza, mm	1700	1445
Larghezza, mm	1700	1450
Lunghezza, mm	1700	1450
Volume, m^3	5,1	3,058

Figura A3.4 - Fibre amorfe rinforzanti.

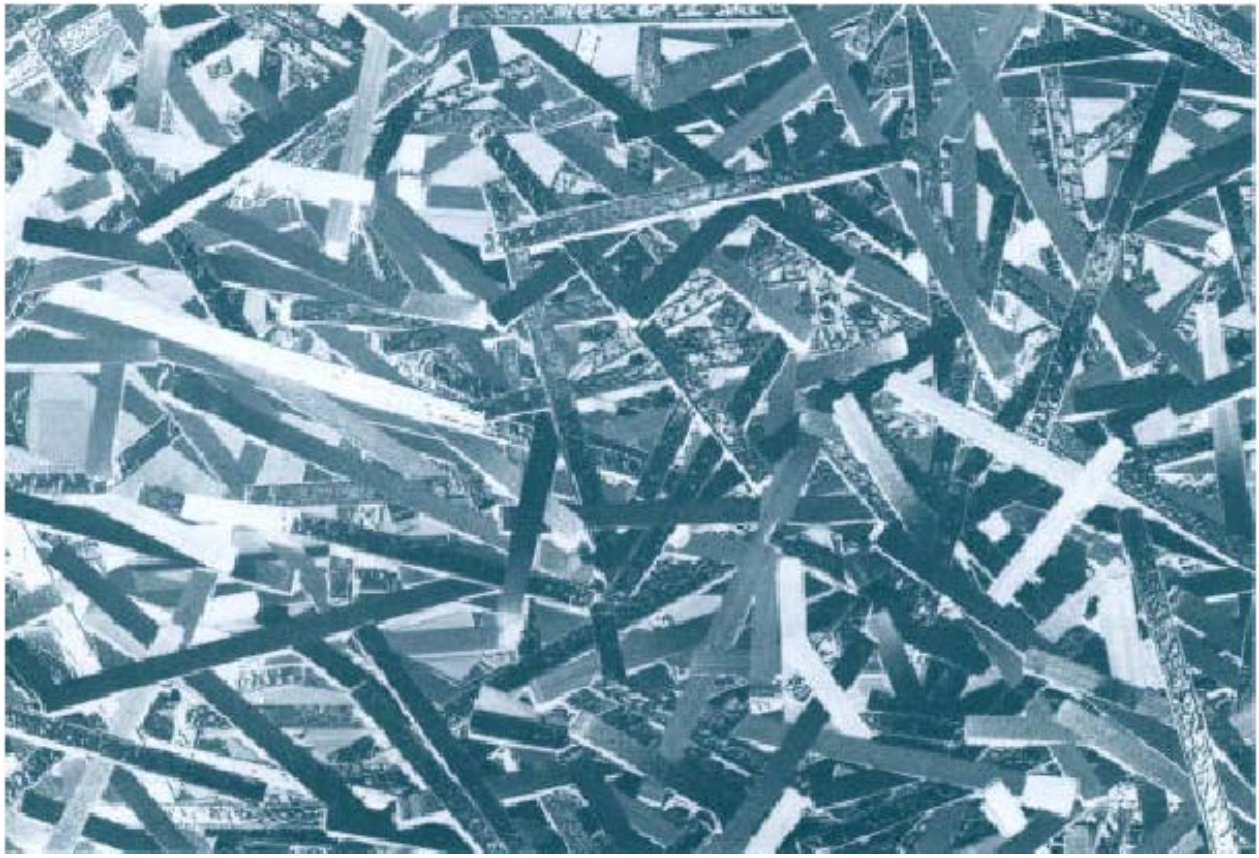


Tabella A3.2 – Caratteristiche fisiche delle fibre metalliche.

Dimensioni	Lunghezza: 15 – 60 mm Larghezza: 1 – 2 mm Spessore: 30 m
Superficie specifica	10 m^2/kg (1 m^2/kg per fibre di acciaio da 0,5 mm di diametro)
Carico di rottura	1500 MPa

Tabella A3.3 – Resistenza alla corrosione delle fibre metalliche.

	Durata del test	Velocità di corrosione µm/anno	Corrente di corrosione 10^{-6} A/cm^2	*Potenziale di corrosione mv/ecs*
Acciaio al carbonio	*240 h*	*413 +- 15*	*36*	*-386*
Fibraflex	*720 h*	*13 +- 6*	*1,1*	*-40*

Tabella A3.4 – Proprietà fisiche e meccaniche del fibrocemento.

	Requisiti ANDRA	Risultati
Peso specifico	-	2,4 kg/m^3
Resistenza alla compressione	> 50 MPa	60 – 70 MPa
Resistenza al taglio	>4,5 MPa	4,5 – 5,5 MPa
Restringimento	<300 mμ/m	290 mμ/m
Perdita di peso	-	2%

Tabella A3.5 - Proprietà di contenimento del fibrocemento (dopo 28 giorni).

	Condizioni del test	Risultati del test	Requisiti ANDRA
Fattore di diffusione effettivo:	1 anno		
- acqua triziata	pellet di 1 cm	< 7.1 10^{-5} cm^2/giorno	< 1.5 10^{-3} cm^2/giorno
- cesio	pellet di 1 cm	< 2.4 10^{-5} cm^2/giorno	< 10^{-3} cm^2/giorno
permeabilità all'acqua		< 1.5 10^{-20} m^2	
permeabilità all'azoto		3 x10^{-20} m^2	< 5 10^{-18} m^2

Tabella A3.6 - Resistenza alle radiazioni del fibrocemento.

Dose integrata	10^6 Gray
Rateo di dose	1,2 – 1,4 10^3 Gy/h
Peso del provini	5 kg
RISULTATI DEL TEST	
Volume di H_2 generato	0,220 l
"Radiolytic return ratio" G (H_2)	0,17
Volume di O_2 consumato	1,14 l
"Radiolytic return ratio" G (O_2)	-0,09
Nessuna cricca	

Tabella A3.7 - Specifiche ANDRA per i contenitori in fibrocemento.

TEST	TYPE OF SPECIMEN	STANDARD OR SPECIFICATION	ANDRA REQUIREMENTS
Compression strength	Material after 28 days	NFP 18.406	≥ 50 MPa
Shear strength by splitting	Idem	NFP 18.408	≥ 4.5 MPa
Shrinkage	Idem	NFP 15.433	≤ 300 µm/m
Weight loss	Idem	NFP 15.433	≤ 35 kg/m³
Nitrogen permeability	Idem	Andra 322 ET 09.04	≤ 5.10^{-18} m²
Gamma radiation resistance	Idem	Andra 330 ET 09.09	Strength Δ : ≤ 20 %
Radionuclide diffusion in aqueous medium	Idem	Andra 330 ET 09.07	Tritiated water : < $1.5\ 10^{-3}$ cm²/day Cesium : < 10^{-3} cm²/day
Water permeability	Idem	Andra 322 ET 09.02	
Density	Idem	Andra 330 ET 09.10	
Porosity	Idem	Andra 330 ET 09.11	
Water tightness	Container body		No sign of leakage
Load behavior	Final package	Andra 330 ET 09.12	Deformation ≤ 3 %
Drop test	Idem	Andra 330 ET 09.13	No containment breach
Homogeneousness of encapsulation barrier	Idem	Andra 330 ET 09.02	Heterogeneousness < 20 %
Immersion test	Idem	Andra 330 ET 09.17	Strength Δ : ≤ 20 %
Thermal cycling resistance	Idem	Andra 330 ET 09.04	

A4. SITI IN DEPOSITI SALINI ESCLUSI PER CARATTERISTICHE GEO-MORFOLOGICHE E GIACITURALI

A4.1 Assoro-Agira (Enna)

Il giacimento è ubicato a pochi chilometri a nord-est di Enna, in un'area di rilievi collinari con versanti in parte con acclività accentuata. La culminazione topografica è costituita dal Monte di Nissoria a 775 m slm. L'area collinare è delimitata a Nord dal fiume Salso e a Sud dal fiume Dittaino. Le quote degli alvei si collocano rispettivamente a 400 e 300 m slm. Il dislivello altimetrico tra gli alvei dei due fiumi e le sommità collinari, di circa 400 metri, e l'acclività dei versanti attestano una elevata intensità dei processi erosivi.
La serie litologica è compresa nella sinclinale Leonforte-Centurini costituita, alla base dalla formazione di Terravecchia, successione argilloso-sabbioso-conglomeratica del Tortoniano superiore, caratterizzata da una grande variabilità di facies. Nell'area del giacimento tale formazione è costituita prevalentemente da marne argillose grigio-azzurre o brune e da sabbie giallastre in livelli sottili o grosse lenti.
I depositi messiniani che contengono il giacimento sono costituiti, dal basso verso l'alto, da:

- Diatomiti bianche fogliettate (Tripoli), nell'area fortemente argillose;
- Calcari bianco-grigiastri laminati, talora con livelli di brecce calcaree ("calcari di base") che nell'area presentano spessori molto esigui;
- Argille gessose con intercalati banchi di gesso.

Il letto della serie gessoso-salifera è costituito da argille mesomioceniche e, successivamente, dall'olistostroma argilloso avente uno spessore di circa 2.000 metri.
I terreni di tetto sono rappresentati da marne bianche (trubi) sormontate da argille plioceniche in facies piacenziana; la serie stratigrafica termina con sabbie, molasse ed arenarie che rappresentano la facies astiana del Pliocene.
Il giacimento, intercettato da alcuni sondaggi, è costituito da due orizzonti principali, uno superiore, dello spessore di 48 metri, è posto tra 546 e 594 metri di profondità, ed uno inferiore (185 metri di spessore) tra 715 e 900 metri di profondità. Le dimensioni orizzontali del giacimento sono di 20 x 15 chilometri.
La serie litologica contenente il salgemma è stata oggetto di piegamento ed emerge nelle parti settentrionali e meridionali dell'area collinare in corrispondenza delle due ali della citata sinclinale.
Il deposito salino principale si sviluppa, al centro della sinclinale, a quote inferiori a quelle del livello del mare per approssimarsi alla superficie al lato meridionale della sinclinale.
Gli orizzonti salini, intercalati con livelli di argille e gessi, si trovano anche a debole profondità e sono quindi oggetto di erosione e dilavamento da parte delle acque superficiali e sotterranee.

A4.2 Resuttano (Enna)

Il giacimento ricade nella zona compresa tra il fiume Imera Meridionale ed il torrente Cava, a pochi chilometri a sud-est del centro abitato di Resuttano (Enna).
La morfologia dell'area è caratterizzata dalle culminazioni dei monti Acquasanta (708 m s.l.m.) e Maccarrone (591 m s.l.m). Mentre gli alvei dei corsi d'acqua citati incidono i versanti fino alla quota di circa 350 m s.l.m. nella zona della loro confluenza.
Il giacimento di Resuttano è un corpo di salgemma con scarso tenore in Potassio, noto per una lunghezza di circa 5 km e larghezza di 3-4 km. Si ritiene, comunque, che il giacimento di sale possa avere un'estensione ed uno sviluppo verticale di notevoli dimensioni. Sono stati misurati, in sondaggio, spessori, per il banco salino principale, variabili da 200 a 400 metri. La soggia-

cenza è variabile dai 100 ai 250 metri e pertanto la copertura impermeabile fornita dalle argille è molto ridotta e in condizioni morfologiche soggette al dissesto superficiale dei versanti.
I terreni di tetto sono costituiti dalla serie litologica miocenica gessoso-salifera. Tale serie è prevalentemente gessosa nella parte superiore e argillosa in quella inferiore a contatto del sale. Ne deriva una permeabilità elevata nelle stratificazioni superficiali. La impermeabilità degli orizzonti inferiori costituisce il fattore di protezione del sale contro la dissoluzione ad opera delle acque sotterranee.
In superficie sono presenti doline dovute alla dissoluzione dei gessi e diffusi processi superficiali di dissesto dei versanti.
La litostratigrafia attraversata dal sondaggio più profondo mostra, dall'alto verso il basso:

da m 0 a m 125: Argille e gessi
125 – 230: Argille e sale;
230 – 610: Sale compatto;
610 – 692: Sale con argille e straterelli di gesso;
692 – 740: Argille con poco sale e gesso;
740 – 801: Argille gessose.

A4.3 Salinella (Enna)

Il giacimento è localizzato pochi chilometri a Sud di Enna, in prossimità del km 13 della SS117). Si tratta della parte orientale del bacino salino di Pasquasia-Cannarelle.
La morfologia è caratterizzata dalle culminazioni dei monti Salsello (714 m s.l.m.) e Pasquasia (610 m s.l.m.) e dalle incisioni del Vallone Seriori e sud-est e del fiume Morello ad ovest che incidono l'area del giacimento rispettivamente fino alle quote di 450 e 300 m s.l.m..
La morfologia è generalmente poco acclive nelle zone d'affioramento della formazione miocenica gessoso-salifera. I versanti sono relativamente più ripidi nelle formazioni plioceniche.
Il giacimento ha uno sviluppo in direzione est-ovest di circa 4 km, con una larghezza media di circa 2 km.
Lo sviluppo in verticale è stato accertato in corrispondenza di diversi sondaggi che hanno evidenziato spessori variabili da 120 a 300 metri.
La sequenza litostratigrafica mostra, nel sondaggio più rappresentativo, la seguente successione; dall'alto verso il basso:

da 0 a 35 metri: marne plioceniche;
35 – 170: Alternanza di gessi e argilla;
170 – 207: Argille;
207 – 480: Sale;
480 – 495: Alternanza di gessi e argilla;
495 – 525: Sale;
525 – 565: Marne bituminose.

La formazione salina ha coperture variabili dai 50 ai 250 metri costituite dalla formazione miocenica che presenta intercalazioni di argille e gessi solubili.Tale copertura espone il giacimento salino a dissoluzione per infiltrazione e percolazione di acque sotterranee.

A4.4 Tabelle e figure

Figura A4.1 - Ubicazione del giacimento di Assoro-Agira.

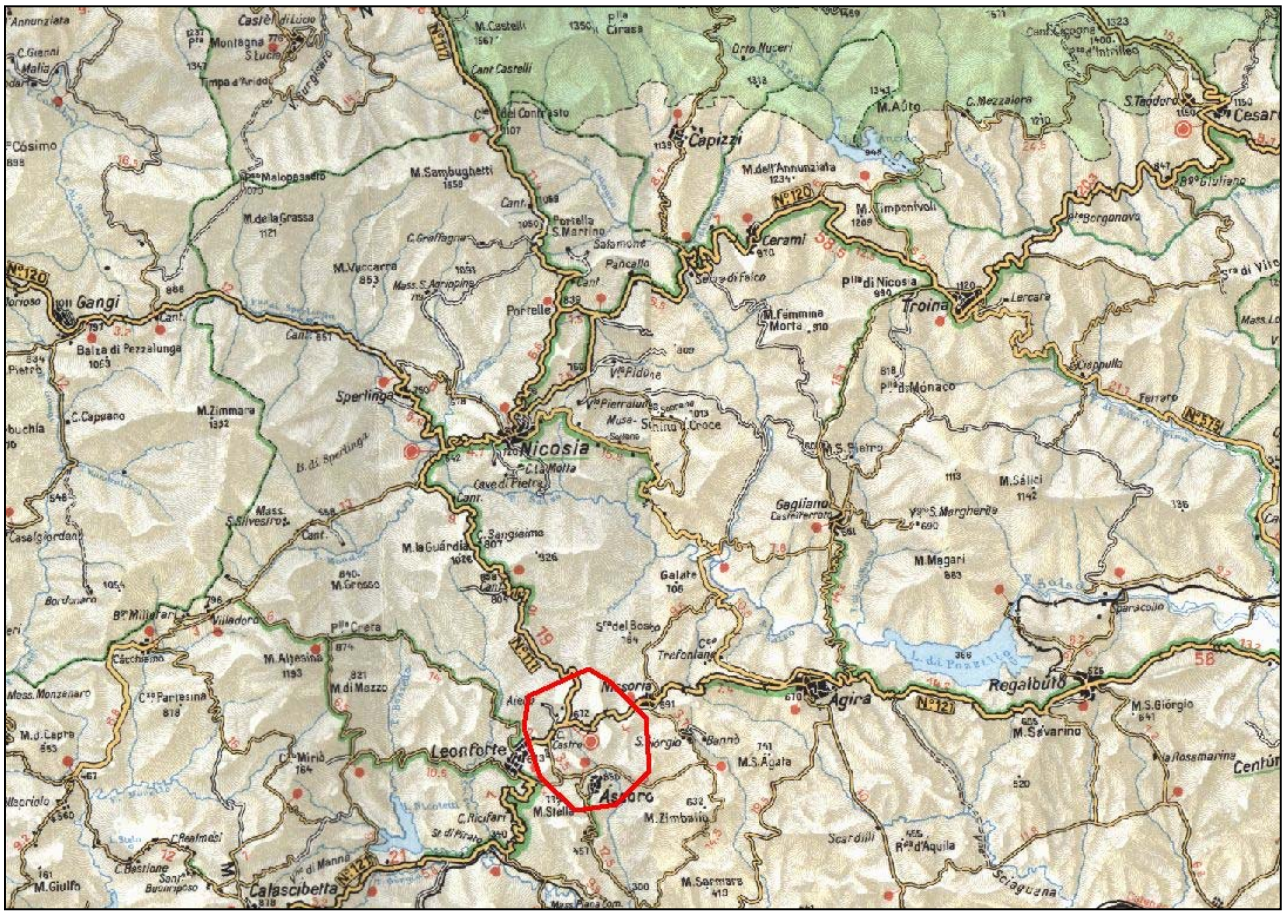


Figura A4.2 - Sezione geologica NW-SE nell'area di Assoro-Agira (Ar = sabbie, arenarie e molasse; Ap = argille plioceniche; Tb = trubi; AG = argille e gessi; S = sale).

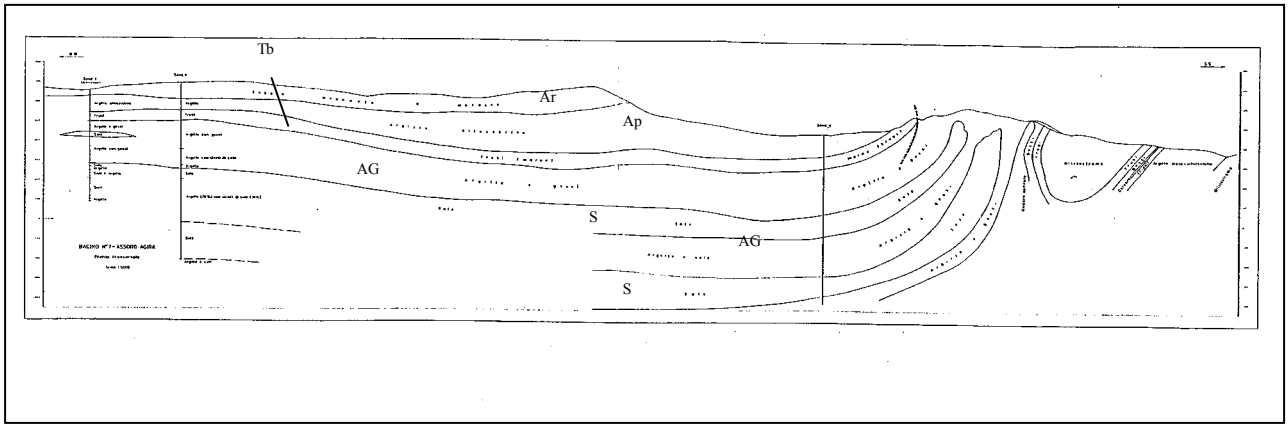


Figura A4.3 - Ubicazione del giacimento di Resuttano.

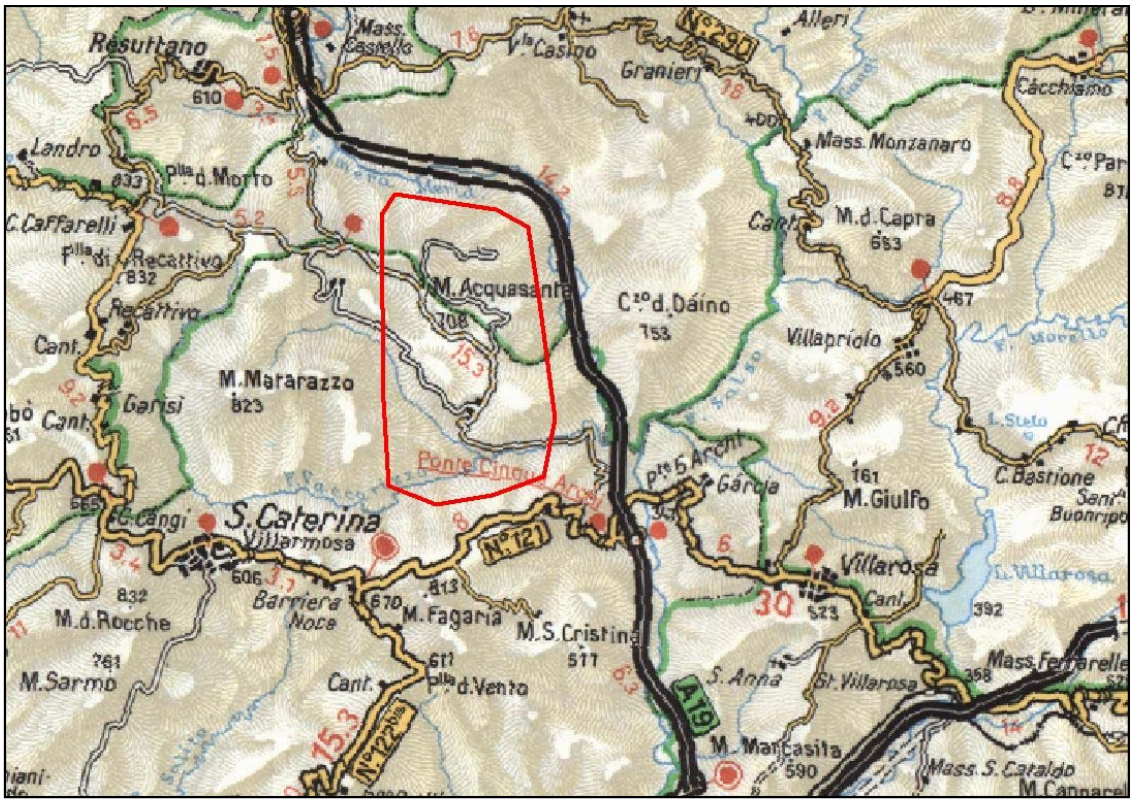


Figura A4.4 - Ubicazione del giacimento di Salinella.

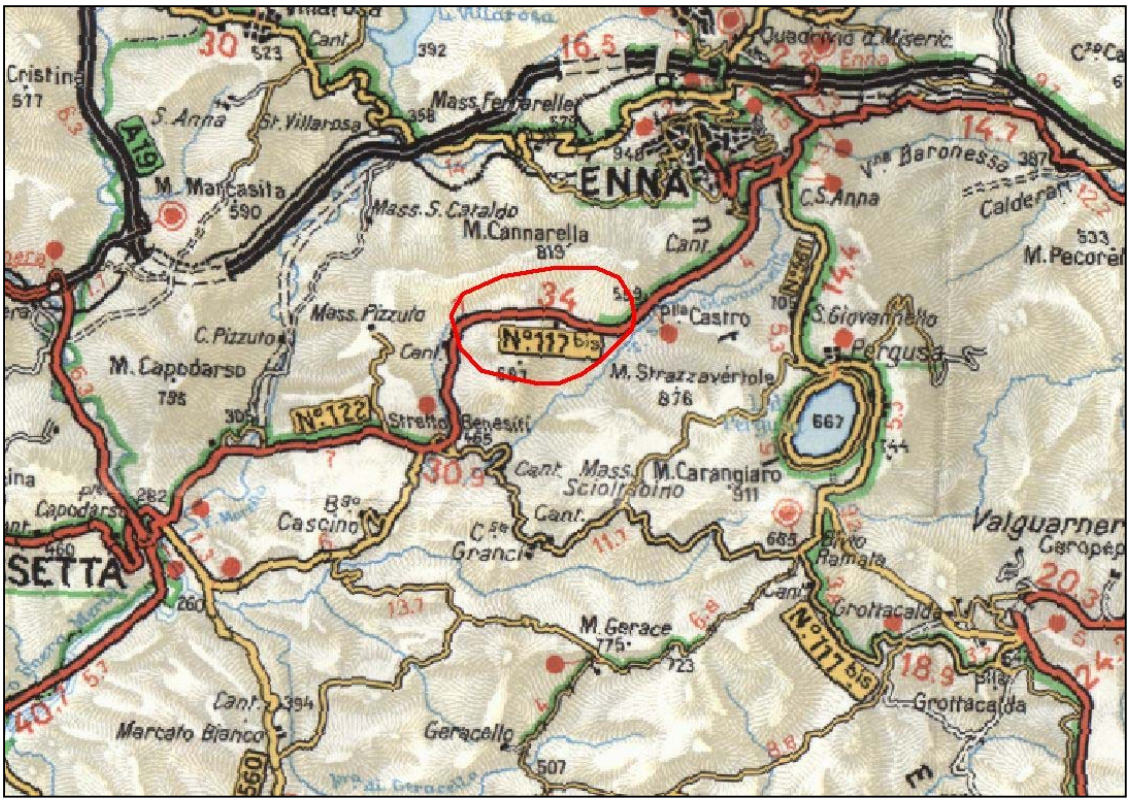
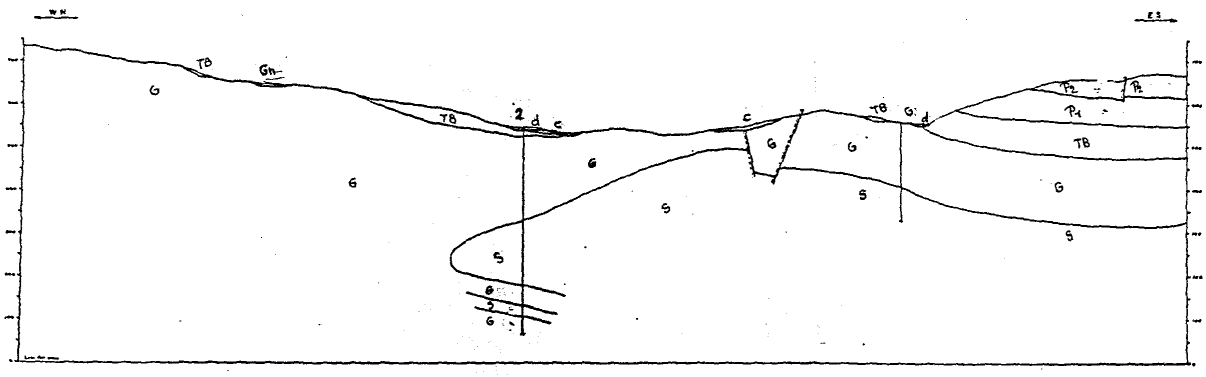



Figura A4.5 - Sezione geologica NW-SE nell'area di Salinella
(d = detrito; a = alluvioni; P_2 = astiano; P_1 = piacenziano; Tb = trubi; G = gessi; T = tripoli; S = sale).