ENEA Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di Identificazione	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 008	L	1	17

Titolo

Modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive di un deposito di rifiuti radioattivi e metodologia di analisi probabilistica del rischio associato alla costruzione ed operazione del deposito stesso - Fase 2

Definizione del Caso Studio

Ente emittente: CIRTEN

PAGINA DI GUARDIA

Descrittori

Tipologia del documento: Rapporto Tecnico

Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE: tema di ricerca "Nuovo nucleare da fissione"

Argomenti trattati: Trattamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi

Sommario

Il presente rapporto contiene la definizione delle principali caratteristiche di un deposito di rifiuti radioattivi ai fini di fornire un riferimento di lavoro comune per le attività di ricerca del Politecnico di Milano e dell'Università La Sapienza di Roma, nell'ambito della linea progettuale LP4. La definizione del caso studio è principalmente basata su un concetto di deposito che fu oggetto di studio da parte dell'ENEA, corroborata da esperienze simili a livello internazionale. Il caso studio si intende riferito ad un deposito "chiuso", cioè terminata la fase di riempimento del deposito ed a conclusione delle attività di sigillamento della struttura.

Note

Autori: E. Zio, F. Cadini, J. De Sanctis, D. Avram, A. Cherubini

Copia n. In carico a:

REV.	DESCRIZIONE	DATA		CONVALIDA	VISTO	APPROVAZIONE
2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	28-09-10	NOME	A.Luce	S. Monti	S. Monti
			FIRMA			

CIRTEN

CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO

PER LA RICERCA TECNOLOGICA NUCLEARE

POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI ENERGIA

Modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive di un deposito di rifiuti radioattivi e metodologia di analisi probabilistica del rischio associato alla costruzione ed operazione del deposito stesso - Fase 2

Definizione del Caso Studio

AUTORI

E. Zio, F. Cadini, J. De Sanctis, D. Avram, A. Cherubini

CIRTEN POLIMI RL1148-2010

Milano 2010

Lavoro svolto in esecuzione della linea progettuale LP4 punto C3 dell'AdP ENEA MSE

Tema 5.2.5.8 – "Nuovo Nucleare da Fissione"

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare l'ing. Alfredo Luce e l'ing. Alberto Taglioni dell'ENEA per aver fornito suggerimenti e stimoli nelle varie fasi della stesura di questo rapporto, per le utili discussioni intercorse, per le spiegazioni ed i chiarimenti in merito ai problemi incontrati ed infine per la lettura critica del presente documento ed i miglioramenti suggeriti.

INDICE

1. INTRODUZIONE 4
2. LE BARRIERE INGEGNERISTICHE 5
3. MODELLAZIONE DEL TRASPORTO IN ACQUE DI SOTTOSUOLO 12

1. INTRODUZIONE

Il presente rapporto contiene la definizione delle principali caratteristiche di un deposito di rifiuti radioattivi, del sito e della biosfera nel quale è immerso, ai fini di fornire un riferimento di lavoro comune per le attività di ricerca del Politecnico di Milano e dell'Università La Sapienza di Roma, nell'ambito della linea progettuale LP4 - Attività di ricerca e sviluppo relative alla caratterizzazione dei rifiuti radioattivi e alle fenomenologie di base tipiche di un deposito definitivo di rifiuti radioattivi di II categoria e temporaneo di rifiuti di III categoria, in particolare per l'obiettivo LP4-C3 "*Performance Assessment: modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive di un deposito di rifiuti radioattivi e metodologia di analisi probabilistica del rischio associato alla costruzione ed operazione del deposito stesso*".

La definizione del caso studio è principalmente basata su un concetto di deposito che fu oggetto di studio da parte dell'ENEA [1], corroborata da esperienze simili a livello internazionale [2].

Il caso studio si intende riferito ad un deposito "chiuso", cioè terminata la fase di riempimento del deposito ed a conclusione delle attività di sigillamento della struttura.

Il presente rapporto è così strutturato. Nella Sezione 2 vengono presentate le barriere ingegneristiche del deposito di riferimento, cioè le strutture artificiali preposte al contenimento dei radionuclidi. Nella Sezione 3 vengono definite le principali caratteristiche fisiche delle acque di sottosuolo (groundwater) principali responsabili del trasporto di radionuclidi nella biosfera.

2. LE BARRIERE INGEGNERISTICHE

L'elemento primario di contenimento dei radionuclidi è il "manufatto". Nel progetto preso come riferimento [1][2], i manufatti sono costituiti da fusti in acciaio contenenti i rifiuti radioattivi immobilizzati in una matrice solida che limita la mobilità dei radionuclidi. Il manufatto rappresenta anche l'unità principale di trasporto e stoccaggio dei rifiuti radioattivi. In Figura 1 è presentato lo schema concettuale di un manufatto.

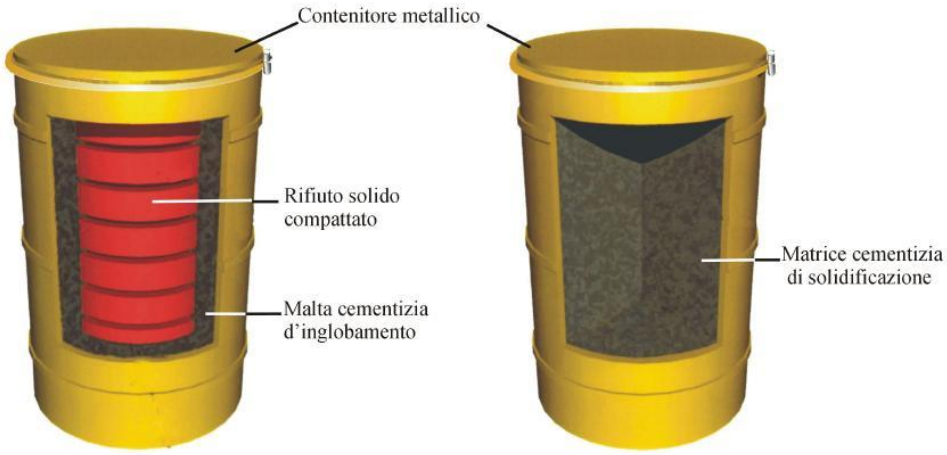

Figura 1: Schema concettuale di manufatto.

Il sistema di barriere ingegneristico è costituito dalla successione delle tre barriere così identificate:

- il grout,
- il contenitore modulare,
- le membrature in c.a delle unità di deposito (platea di fondazione, pareti, soletta di copertura).

I contenitori modulari, contenenti i rifiuti radioattivi condizionati (i manufatti) o i rifiuti solidi a bassa attività opportunamente immobilizzati con speciale malta cementizia (*grout*), sono costituiti da una struttura scatolare in calcestruzzo armato chiuse da un coperchio sigillato, anch'esso in calcestruzzo.

L’insieme contenitore modulare + grout costituisce il “modulo”, ovvero l’unità ultima di smaltimento (UMS)

Ai quattro spigoli delle pareti sono posizionati gli agganci per il sollevamento e la relativa movimentazione. Il fondo del modulo è dotato di opportuni recessi, disegnati in modo da consentire l’operazione di impilaggio. La Figura 2 mostra la struttura concettuale di un modulo.

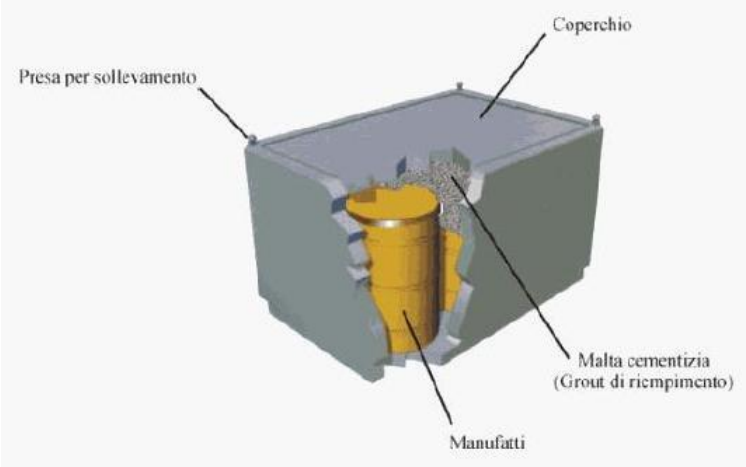

Figura 2: Schema concettuale di un modulo per rifiuti radioattivi.

Le caratteristiche principali del modulo sono:

- capacità di confinamento dei rifiuti radioattivi (effetto barriera) derivante dalla qualità dei materiali impiegati e dalla geometria del sistema;
- protezione radiologica per il personale, sia durante la fase di riempimento che di movimentazione e deposito in cella, ottenuta sia con adeguati spessori delle pareti che con sistemi di movimentazione remotizzata;
- resistenza meccanica adeguata ai carichi di progetto;
- facilità di movimentazione, sollevamento e trasporto.

I moduli sono impilati su più strati all’interno delle celle, locali nei quali le unità di deposito sono suddivisi. Al centro della cella è preservato uno spazio libero (sia in senso longitudinale che trasversale) per compensare eventuali scostamenti del posizionamento (Figura 3 e Figura 4); in fase di chiusura della cella, gli spazi vuoti presenti tra modulo e modulo e tra i moduli e le pareti delle

celle sono riempiti di un materiale drenante in grado di conferire maggiore stabilità strutturale (*back-fill*).

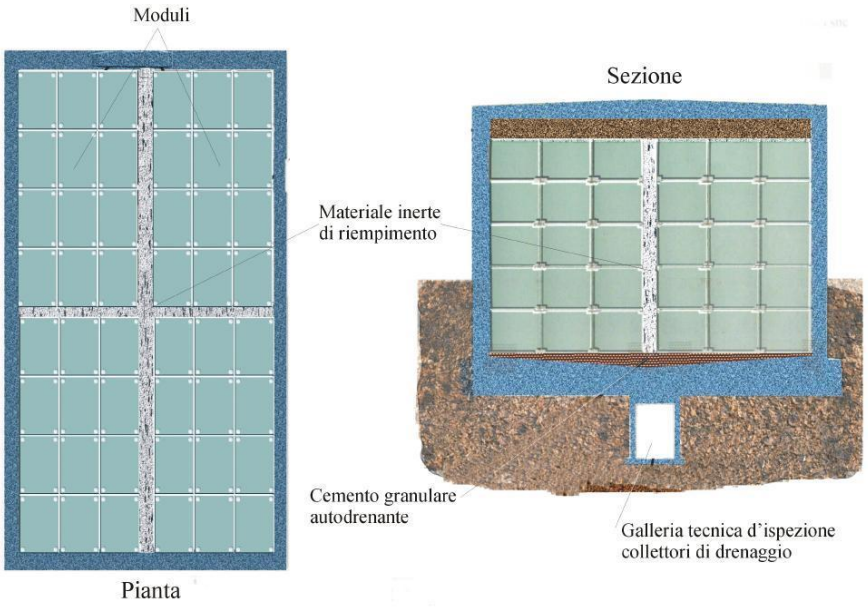

Figura 3: L'ordinamento dei moduli in una cella.

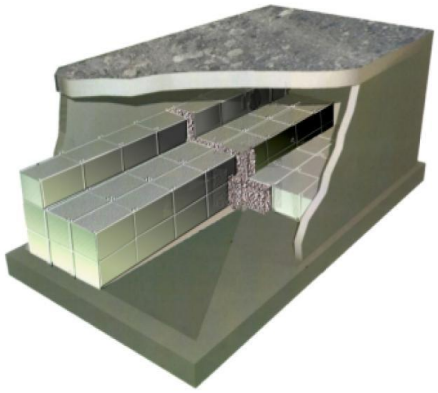

Figura 4: Panorama di una cella all'interno delle quale i moduli sono impilati su più strati.

Le unità di deposito, nelle quali sono ricavati locali detti "celle", sono dimensionate con l'obiettivo principale di ottimizzare la capacità di stoccaggio. Lo spessore delle pareti e della soletta di chiusura è determinato tenendo conto, oltre che dei problemi strutturali, anche di quelli relativi alla protezione radiologica del personale. Il fondo della cella, in pendenza verso un pozzetto centrale di

aggottamento, è impermeabilizzato e collegato al sistema di raccolta, monitoraggio e controllo delle acque di infiltrazione.
Alla fine della fase di riempimento del deposito, le celle sono protette mediante una "*copertura definitiva*", realizzata con un rilevato in terra, organizzato in strati di terreni di caratteristiche adeguate, alternati a manti impermeabilizzanti artificiali, con lo scopo fondamentale di proteggere le celle dalla percolazione dell'acqua meteorica ed altri agenti, quali l'erosione e le variazioni termiche per prevenire fenomeni di deterioramento. La copertura costituisce inoltre un efficace strato di assorbimento nel caso incidentale di caduta di aeromobile, od altri eventi accidentali limite ipotizzabili.

All'interfaccia tra l'ultima copertura ed il terreno naturale è previsto un sistema di raccolta delle acque provenienti dagli strati drenanti del rilevato, da collegare al sistema di smaltimento delle acque superficiali descritto in precedenza. Il rilevato è progettato come un'opera in terra, costituita da strati di terreno di diverse caratteristiche e funzioni, con interposte membrane di impermeabilizzazione.

Il deposito ingegneristico è inoltre dotato di sistemi ausiliari non direttamente identificabili come barriere ingegneristiche, ma preposti al potenziamento delle funzioni di confinamento dei manufatti. I più importanti sistemi ausiliari nel deposito che fu oggetto di studio da parte dell'ENEA sono [1]:

a) Unità di copertura mobile delle celle

È costituita da una struttura in carpenteria di acciaio, con telai monocampata e monoplano, a ritti e trasversi di tipo reticolare (per ottenere la massima rigidezza con il minimo peso). Tamponature laterali e copertura sono realizzate con pannelli a doppia parete di acciaio, con isolamento intermedio. La copertura a doppia falda è dotata di completo sistema di drenaggio delle acque meteoriche. Le dimensioni totali della struttura sono tali da consentire l'alloggiamento della gru a cavalletto, a sua volta di luce sufficiente a sormontare l'intera larghezza di cella e la corsia stradale di accesso dei mezzi di trasporto. L'intera copertura è divisa, in senso longitudinale, in quattro sezioni strutturalmente indipendenti, al fine di facilitare l'operazione di rilocazione su altra unità di deposito.

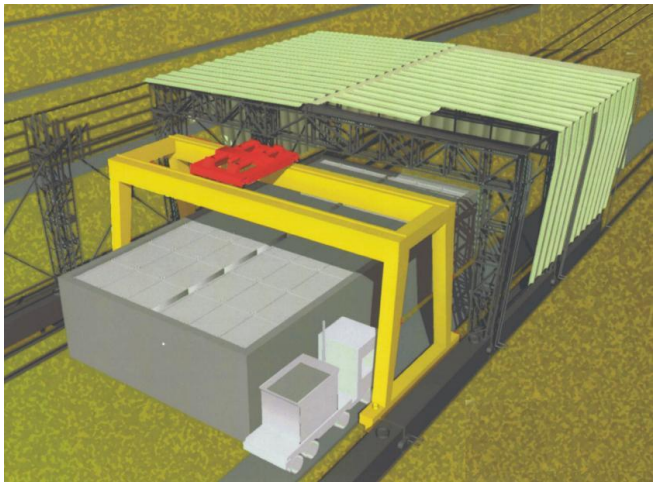

Figura 5: Unità di copertura mobile delle celle.

b) Sistema di movimentazione

La rilocazione dell'unità di copertura mobile su altra Unità di deposito è possibile o per smontaggio parziale e successivo riassemblaggio di subassiemi strutturali o per mezzo di opportuni meccanismi. Come si mostra nella Figura 5, il sistema di movimentazione del deposito è costituito di gruppi di avanzamento, composti da carrelli a tre ruote, di cui due (uno per lato) motorizzati. Il movimento normale, durante le fasi di riempimento delle celle di una unità, avviene su rotaie poste ai due lati della fila di celle (rotaie longitudinali).

c) Sistema di raccolta e di controllo dell'acqua d'infiltrazione nelle celle

Questa unità ha la funzione di raccogliere e monitorare le eventuali infiltrazioni di acqua piovana o di falda nelle celle, sia nella fase operazionale sia nella fase di sorveglianza a lungo periodo. L'acqua di infiltrazione, qualora superasse la barriera costituita dalle pareti del modulo e del "grout", potrebbe entrare in contatto con la matrice del rifiuto condizionato e quindi, per effetto della lisciviazione dei radioisotopi, risultare potenzialmente contaminata. L'acqua di ogni cella è drenata in un collettore comune a tutta una fila di celle e raccolta in un serbatoio di accumulo per essere controllata (controllo di radioattività, analisi chimica e radioisotopica) prima della restituzione all'ambiente. In caso di presenza di contaminazione, viene riciclata nell'impianto di condizionamento moduli ovvero inviata all'impianto di trattamento liquidi del deposito. Inoltre il rilevamento di significativi quantitativi di acqua in un qualsiasi punto del sistema costituisce indice di un eventuale danneggiamento della copertura o delle celle. Il sistema è quindi progettato per consentire che le perdite di un qualsiasi punto dell'impianto siano facilmente rilevate e localizzate.

d) Sistema di raccolta delle acque superficiali e di falda

L'unità si articola nei seguenti sottosistemi:

- raccolta e smaltimento delle acque meteoriche
- captazione delle acque sotterranee.

Entrambe queste acque sono raccolte, convogliate e restituite, preferibilmente per gravità, ai corsi d'acqua naturali. Il primo sottoinsieme convoglia le acque piovane provenienti dalle zone coperte, pavimentate od inerbate e è funzionante sia durante la fase operativa che in quella successiva di sorveglianza. L'area di deposito viene dotata di una rete di drenaggio delle acque infiltratesi nel terreno (acque sotterranee o di falda), da raccogliere e restituire ai corsi d'acqua naturali. Lo scopo primario del secondo sottosistema è quello di deprimere il livello di falda, in corrispondenza delle strutture annegate, peraltro opportunamente impermeabilizzate controterra, per evitare o comunque limitare al massimo il danneggiamento delle opere in cemento, e minimizzare l'infiltrazione attraverso le pareti.

In generale, la superficie complessiva dell'area di deposito, dipende, oltre che dal numero e dimensioni delle unità di deposito, determinate dalla quantità e tipologia dei manufatti da confinare, anche dalla distanza tra le unità affiancate, che è funzione delle caratteristiche geomorfologiche e geotecniche del sito. Il deposito definitivo è quindi costituito dalla totalità delle unità di deposito affiancate, ciascuna delle quali rappresenta un sistema indipendente, che può essere realizzato ed operato senza interferire con altre unità, già costruite od ancora da costruire.

Nel caso studio proposto, per semplicità ma senza alcuna perdita in generalità, 6 celle in calcestruzzo contenenti $6 \times 8 \times 5$ moduli sono allineate a formare un'unità di deposito. Due unità di deposito affiancate costituiscono l'intero deposito, le cui dimensioni esterne sono: 52.8 m di larghezza (cioè 16 moduli); 86.4 m di lunghezza (cioè 36 moduli); 14.4 m di altezza (cioè 5 moduli).

In sintesi, il progetto di deposito di rifiuti radioattivi presentato in questo Capitolo fonda la sua funzione di protezione e sicurezza su una strategia ingegneristica atta a garantire che l'impatto

radiologico risulti entro i limiti stabiliti in ogni prevedibile situazione di normale funzionamento o incidentale. Il confinamento dei radionuclidi viene realizzato mediante una successione di barriere fisiche poste tra i rifiuti radioattivi e l'uomo e tra i rifiuti e quegli agenti naturali che possono dare origine alla dispersione della radioattività. La preoccupazione maggiore è data dall'azione dell'acqua, in qualunque sua forma.

3. MODELLAZIONE DEL TRASPORTO IN ACQUE DI SOTTOSUOLO

Una volta rilasciati dal fondo del deposito, i radionuclidi trasportati dall'acqua migrano attraverso la zona insatura e raggiungono infine la falda acquifera o zona satura. La stima dell'andamento temporale delle concentrazioni dei radionuclidi nella zona satura e la definizione dei "percorsi" di assunzione di dose permettono di valutare l'intensità della dose rilasciata ad un gruppo o individuo critico opportunamente definito.

Nel caso studio qui presentato, per semplicità, il trasporto di radionuclidi in zona insatura, al di sotto delle strutture del deposito, è modellizzato come un ritardo temporale costante. Successivi sviluppi potranno analizzare questo fenomeno di trasporto in maggior dettaglio fisico, qualora il suo contributo dovesse risultare rilevante per la valutazione di prestazione di sicurezza.

Per quanto riguarda il trasporto di radionuclidi nella zona satura, l'assunzione principale consiste nel considerare che il trasporto avvenga in un dominio bidimensionale rettangolare di 2000 m × 1000 m.

I parametri fisici che caratterizzano il trasporto dei radionuclidi in tale dominio si riferiscono al sito del deposito di El Cabril, in Spagna [2]. I valori utilizzati per la definizione del caso studio sono ottenuti attraverso l'applicazione di tecniche di analisi statistica ai dati ricavati da particolari misure sperimentali condotte sui 30 pozzi di prelievo situati sul territorio.

In particolare, la *permeabilità idraulica* del terreno è stata caratterizzata attraverso il variogramma sperimentale di tale parametro [3]. Il variogramma risulta da un'analisi statistica delle tendenze di fondo della distribuzione dei punti campionari ed ha le seguenti caratteristiche:

- è basato su un concetto di autocorrelazione spaziale dei dati;
- descrive in modo statistico l'andamento della variabile d'interesse sul territorio, misurando il grado di cambiamento dei dati campionari nello spazio;
- è in grado di tenere conto di eventuali andamenti non lineari, quali ad esempio anisotropie del terreno e trend;
- rappresenta un modello statistico della morfologia dello spazio.

Nel caso studio di riferimento preso in esame, i parametri del variogramma risultano essere [3]:

- Nugget = -7.13
- Partial Sill = 1.21
- Range = 50 m

Dopo una opportuna discretizzazione del dominio bidimensionale che rappresenta la zona satura, il campo di permeabilità idraulica è ricavato inserendo i parametri del variogramma precedentemente descritti come input del modello GCOSIM3D [4]. Attraverso tale modello è possibile campionare un valore di permeabilità idraulica dalla distribuzione statistica derivabile dal variogramma, per ogni cella del dominio in esame. La Figura 6 (sinistra) mostra una singola realizzazione del campo di permeabilità, espressa in gradazioni di colore dal blu (permeabilità bassa) al rosso (permeabilità alta).

Gli altri parametri fisici utilizzati nella definizione del caso studio e ricavati dai dati sperimentali sono:

- la dispersività longitudinale, assunta pari a 10 m;
- la densità di massa del terreno, assunta pari a 1700 Kg/m^3;
- la differenza di carico idraulico tra monte e valle, assunta pari a 200 m.

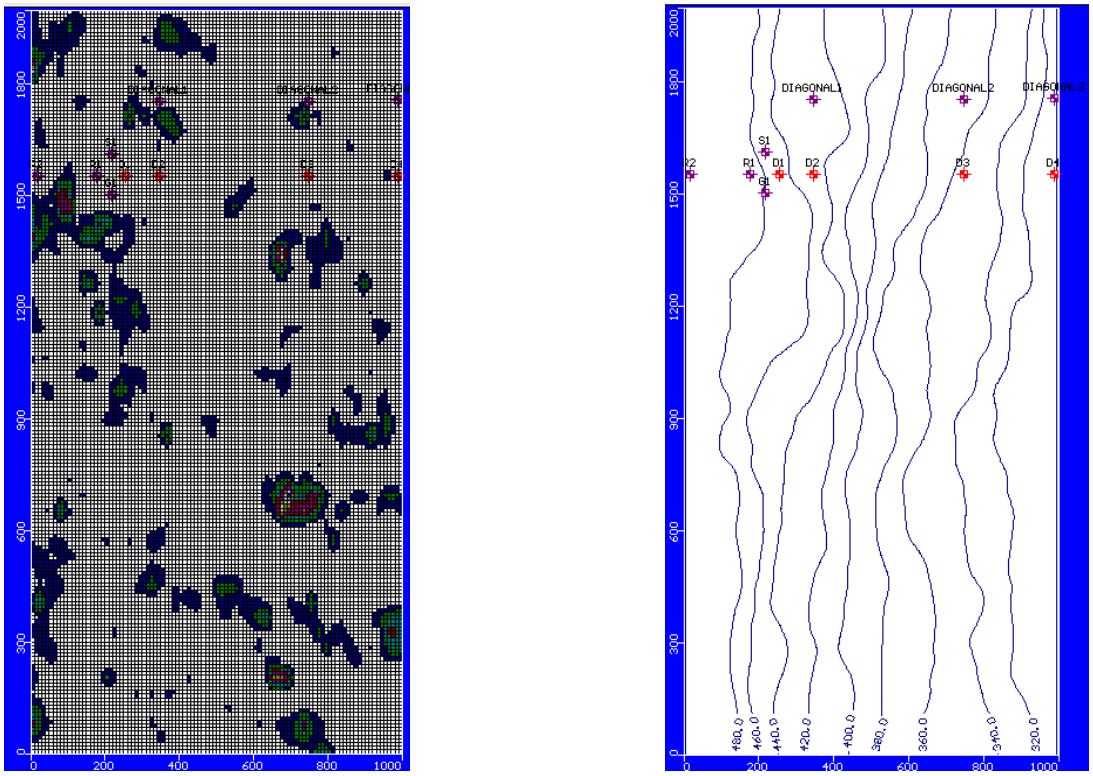

Figura 6: Campo di permeabilità idraulica (sinistra) e linee equipotenziali del carico idraulico e distribuzione spaziale dei pozzi di prelievo (destra).

In analogia con la disposizione reale del deposito nel sito di El Cabril [2], il deposito descritto nella precedente Sezione è disposto nel dominio bidimensionale come illustrato in Figura 7 (in scala).

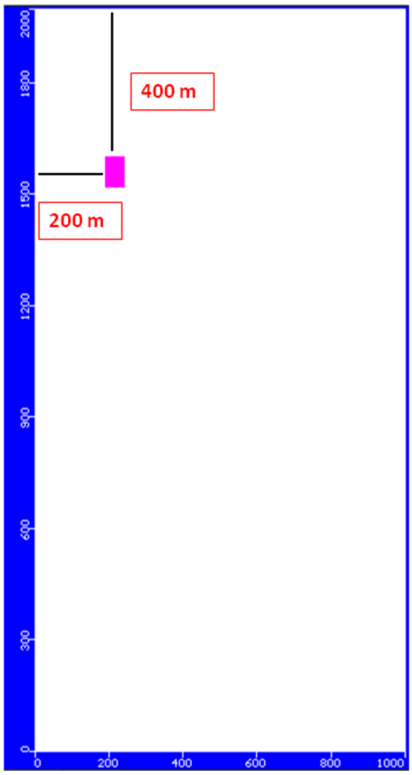

Figura 7: Collocamento spaziale del deposito nel dominio bidimensionale.

REFERENZE

[1] N. A. Chapman, Preliminary feasibility assessment fo Near- Surface, engineered LLW repositories at two sites. Ed QuantiSci, 1997.

[2] El Cabril Internal report.

[3] E. H. Isaak, R. M. Srivastava, An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, Oxford, 1989.

[4] J. J. Gómez-Hernández, A. G. Journel, Joint sequential simulation of multi-Gaussian field. Geostatitics Troia '92, Ed. Soares, 1, 85-94, 1993.