

Titolo

**Un approccio metodologico strutturato nella
caratterizzazione geologico-ambientale di un
sito per l'ubicazione di un deposito superficiale
di rifiuti radioattivi di seconda categoria**

Descrittori

Tipologia del documento: Rapporto tecnico

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

Argomenti trattati: Risorse e territorio, Trattamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi

Sommario

Nel rinnovato quadro di sviluppo nucleare promosso nel nostro paese, la realizzazione di un deposito di rifiuti radioattivi rappresenta una reale necessità. La conoscenza del sistema-ambiente su cui insisterà l'opera dovrà essere l'oggetto di studi approfonditi. In particolare le attività di caratterizzazione geologico-ambientale dovranno rivelarsi esaustive e dettagliate.

E' quindi opportuno definire un approccio metodologico alla caratterizzazione che risulti chiaro e pragmatico, ma che permetta anche di desumere un quadro completo e particolareggiato degli aspetti geologico-ambientali. Per tale ragione, riferendosi ad un approccio di tipo top down e al paradigma della rappresentazione ad oggetti, viene proposta una metodologia di caratterizzazione di uno o più siti ritenuti idonei per l'ubicazione di un deposito di rifiuti radioattivi di II categoria.

PRELIMINARE


Note: Lavoro svolto in esecuzione della linea progettuale LP4 – Task C dell'Accordo di programma ENEA-MSE, II PAR, obiettivo C2.

Autore: R. Levizzari

Copia n.


In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	15/09/10	NOME	R. LEVIZZARI	A. LUCE	5.40411
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	2	25

SOMMARIO

Premessa	3
1. Attività di caratterizzazione nel contesto ambientale	4
1.1. Le necessità di caratterizzazione ambientale del territorio	4
1.2. La necessità di uno strumento di comunicazione e supporto alle decisioni	5
1.3. Scopo e contenuto del presente Rapporto Tecnico nel quadro degli studi pregressi.....	5
1.3.1. <i>Indagini pregresse svolte dall'ENEA</i>	5
1.3.2. <i>Contenuto del rapporto tecnico</i>	6
2. La caratterizzazione di un sito per l'ubicazione di un deposito superficiale di rifiuti radioattivi	7
2.1. Le esigenze di caratterizzazione nell'ambito del deposito di rifiuti radioattivi	7
2.2. Le finalità di modellizzazione di un sito nucleare	7
3. Descrizione dell'approccio metodologico proposto	9
3.1. Un approccio strutturato e flessibile per gli studi di caratterizzazione.....	9
3.2. Analisi top down per caratterizzare il sistema ambiente.....	10
3.3. Approccio object oriented per rappresentare le componenti del sistema ambiente.....	11
3.3.1 <i>Gli oggetti come elementi di rappresentazione della realtà</i>	11
3.3.2 <i>Gli oggetti come elementi di rappresentazione del contesto ambientale</i>	12
3.4. Procedura schematica per l'applicazione del metodo.....	13
3.4.1 <i>Fasi di applicazione del metodo</i>	13
3.4.2 <i>Gerarchizzazione dei domini ambientali</i>	15
4 Applicazione dell'approccio proposto per la modellizzazione del sistema ambiente	18
4.1 Processo Top Down per la partizione del sistema.....	18
4.1.1 <i>Suddivisione del sito in matrici ambientali</i>	18
4.1.2 <i>Individuazione dei domini ambientali</i>	18
4.2 Caratterizzazione dei domini ambientali.....	19
4.3 Indagini tecniche e studi geologico-ambientali a supporto del processo di partizione e caratterizzazione del sistema.....	22
4.4 Ricombinazione dei domini nel quadro di caratterizzazione finale	22
Conclusioni	24
Bibliografia	25

	Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		NNFISS – LP4 - 005	0	L	3	25

PREMESSA


La ripresa del programma energetico nucleare promosso dall'Italia implicherà inevitabilmente un rinnovato impegno per gli studi e la realizzazione dei depositi di rifiuti radioattivi di diversa categoria, oggi presenti nel nostro paese. In un contesto geologico-territoriale particolare come quello italiano e vista la tipologia dei materiali da trattare, è evidente che questo rappresenta un problema tecnico di una certa rilevanza.

La selezione dell'area più idonea per ospitare un deposito superficiale o sub-superficiale di rifiuti radioattivi di tipo *Low Level Waste* (LLW) e *Intermediate Level Waste* a vita breve (ILW-SL), quindi rifiuti di II categoria secondo la normativa italiana, dovrà essere svolta con tutte le cautele del caso, tenendo conto della complessità dei rischi durante la realizzazione e soprattutto durante l'esercizio dell'opera.

L'approccio prescelto per individuare il sito più idoneo dovrà risultare tecnicamente ineccepibile, ma anche chiaro e trasparente, per fornire l'evidenza che i criteri di selezione dell'area rispondano a precisi requisiti e soprattutto siano stati applicati in modo ottimale, per la tutela dell'ambiente e della salute pubblica. In particolare dovranno essere definite, in maniera dettagliata, le caratteristiche delle matrici ambientali coinvolte nella realizzazione e nell'esercizio del deposito stesso; queste costituiranno un utile elemento conoscitivo nei successivi studi finalizzati alla riduzione sostanziale dei rischi.

Ma l'individuazione dei caratteri di ciascuna matrice ambientale potrebbe comportare dei problemi, vista la molteplicità degli aspetti in gioco, la loro complessità e la necessità di ottenere un quadro esaustivo e dettagliato dell'area. Quindi definire fin da subito un approccio tecnico-ingegneristico per la caratterizzazione di un'area, che risulti anche chiaro e trasparente al pubblico, è fondamentale nel processo di selezione del sito. Da sottolineare che tutti gli elementi raccolti per definire il quadro geologico-ambientale e territoriale dell'area potranno essere utilmente impiegati anche in altri contesti, ad esempio nella quantificazione dell'impatto ambientale dell'opera, negli studi modellistici sulla dinamica degli eventuali inquinanti rilasciati, ecc.

L'obiettivo di questo documento è quello di descrivere un possibile approccio metodologico, per lo studio e la caratterizzazione geologico-ambientale di uno o più siti ritenuti idonei per la realizzazione di un deposito superficiale o sub superficiale di rifiuti radioattivi di II categoria. La proposta avanzata si basa su un criterio di studio di tipo *top-down*, per la caratterizzazione del sistema ambiente, e sul paradigma della rappresentazione orientata agli *oggetti* (*object oriented*) per la modellazione dei domini ambientali. L'architettura qui descritta può rivelarsi utile anche per affrontare la caratterizzazione di un qualsiasi sito in cui si preveda l'installazione di un'infrastruttura antropica, in grado di indurre un impatto rilevante sul territorio e sull'ambiente.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	4	25

1. ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE NEL CONTESTO AMBIENTALE

1.1. LE NECESSITÀ DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEL TERRITORIO

Le necessità di tutela dell'ambiente e della salute della popolazione impongono un'adeguata conoscenza preventiva degli aspetti che caratterizzano le matrici ambientali, prima della realizzazione di particolari infrastrutture antropiche. E' quindi ovvio che la realizzazione di un deposito di rifiuti radioattivi, interessando i diversi comparti ambientali con impatti più o meno rilevanti, dovrà essere preceduta da un'adeguata fase di studio sul contesto in cui l'infrastruttura stessa si inserirà. Questi principi sono ormai consolidati; ad esempio assumono primaria importanza nelle procedure di Valutazione di Impatto Ambientale, che mirano a definire preventivamente gli effetti della realizzazione di un certo progetto, oppure nel caso di interventi di bonifica di siti contaminati.

Lo scopo conoscitivo di una caratterizzazione è anche quello di creare un modello concettuale del sito, cioè una rappresentazione quanto più fedele e dettagliata possibile del contesto ambientale in cui si inserirà l'opera in progetto. Infine l'approccio alla caratterizzazione sarà anche utile per definire la probabilità di accadimento, l'entità e gli effetti di eventuali fenomeni naturali nell'area di studio.


Oggi esistono numerose fonti bibliografiche cui riferirsi per definire un piano di caratterizzazione; la stessa normativa ambientale interviene con precise disposizioni¹. Ma ogni area presenta caratteristiche e problemi differenti; ad esempio i problemi nella fase di caratterizzazione possono essere legati agli aspetti intrinseci dell'area stessa, che complicano le ricerche, oppure si possono riferire ad effetti antropici, quali ad esempio la presenza di infrastrutture che limitano l'esecuzione delle indagini.

Vista la necessità di ottenere un quadro quanto più dettagliato ed esaustivo possibile per le finalità di cui sopra, è opportuno definire a priori un approccio con cui effettuare le attività di caratterizzazione, che risulti sufficientemente versatile da adattarsi al sito di studio; in tal modo si potrà ridurre il rischio di tralasciare aspetti tecnici che riguardano i singoli comparti ambientali, o addirittura le relazioni che legano tra di loro le matrici ambientali.

Nell'ambito del deposito superficiale lo studio di caratterizzazione geologico-ambientale dovrà avere diverse valenze e in particolare:

- ? definire le caratteristiche del/dei sito/siti prescelto/i;
- ? verificare l'idoneità di un'area per la realizzazione dell'opera stessa;
- ? definire il modello concettuale del sito.

¹ Allegato 2 al Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152 e ss.mm.ii nello specifico contesto delle bonifiche di siti contaminati.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	5	25

1.2. LA NECESSITÀ DI UNO STRUMENTO DI COMUNICAZIONE E SUPPORTO ALLE DECISIONI

L'esigenza di affrontare nel modo più corretto le indagini di caratterizzazione ambientale deriva non solo da considerazioni tecniche, ma anche da esigenze di comunicazione, per rendere l'evidenza di un processo corretto e trasparente nella scelta del sito di deposito. Questi aspetti devono essere tenuti in debito conto nel processo di informazione del pubblico e nel dibattito con le popolazioni locali.

Il loro coinvolgimento nel processo decisionario, al pari di quello dei governi locali, comporta una più ampia accettabilità dei progetti, nonché un valore aggiunto in termini di collaborazione con i portatori di interesse che vivono direttamente sul territorio. Questi argomenti sono ampiamente dibattuti in gran parte dei paesi impegnati nel nucleare, nonché tenuti in debito conto dalle organizzazioni internazionali, che assegnano loro un'importanza pari a quella delle implicazioni tecniche (NEA-OECD, 2009).

La definizione di un approccio alla caratterizzazione, in grado di permettere una selezione pesata su considerazioni tecniche tra un'insieme di siti, fornirebbe un utile strumento per supportare gli organi decisori nella propria scelta. Anche queste esigenze confermano la necessità di definire un approccio metodologico per la caratterizzazione geologico-ambientale che risulti trasparente, tecnicamente ineccepibile ed abbastanza elastico da adattarsi alle necessità contingenti che dovessero sorgere nella caratterizzazione di un sito, destinato alla realizzazione di un deposito superficiale di rifiuti radioattivi.

1.3. SCOPO E CONTENUTO DEL PRESENTE RAPPORTO TECNICO NEL QUADRO DEGLI STUDI PREGRESSI

1.3.1. Indagini pregresse svolte dall'ENEA

L'ENEA è stata ampiamente impegnata nelle attività di studio e ricerca relative allo smaltimento dei rifiuti radioattivi. In particolare le indagini svolte dalla *task force sito*, dal 1996 fino alla conclusione delle sue attività, hanno permesso, grazie ad un corposo e dettagliato lavoro basato principalmente sull'impiego della tecnologia GIS, l'individuazione di un insieme di circa 30 aree potenzialmente idonee per l'ubicazione di un deposito sub-superficiale, per lo stoccaggio di rifiuti radioattivi a bassa attività sul territorio nazionale (Ventura, 2003).

Il pregevole studio condotto dal personale ENEA ha comportato la realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale (SIT) su scala nazionale, mediante l'impiego di precisi criteri di esclusione, sulla base dei quali è stato possibile definire il ristretto numero di siti potenzialmente idonei. L'affinamento dei criteri di esclusione man mano più restrittivi è stato articolato in tre fasi successive:

- ? analisi su scala nazionale;
- ? identificazione delle aree favorevoli;
- ? identificazione dei siti potenzialmente idonei.

ENEA	Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		NNFISS – LP4 - 005	0	L	6	25


Il lavoro è frutto delle collaborazioni che l'ENEA ha istituito con importanti istituzioni universitarie e di ricerca presenti sul territorio nazionale, che hanno condiviso dati, informazioni e competenze sul contesto geologico–ambientale e territoriale del nostro paese.

1.3.2. Contenuto del rapporto tecnico

Alla luce del lavoro di screening già condotto dall'ENEA, il presente lavoro si è incentrato sull'individuazione di una metodologia di caratterizzazione che completi, per quanto possibile, le attività già svolte in questo preciso settore. Si è dunque elaborato un approccio strutturato che permetta di caratterizzare un sito, dal punto di vista geologico-ambientale, in modo esaustivo e dettagliato. Se ulteriormente potenziato e sviluppato, potrà anche permettere il confronto tecnico tra più siti ritenuti idonei per l'ubicazione del deposito, per giungere ad una corretta selezione dell'area con le migliori caratteristiche.

L'approccio proposto si basa su alcuni principi chiave:

- ? individuare le matrici ambientali rilevanti che costituiscono il sistema oggetto di indagine;
- ? scomporre, in modo iterativo e per affinamenti successivi, ogni matrice in singoli domini ambientali, relativamente piccoli, in modo da semplificarne la caratterizzazione (approccio di studio di tipo *top down*);
- ? caratterizzare ogni dominio in base alle sue proprietà fondamentali e in base alle sue interazioni con i domini circostanti;
- ? utilizzare una metodologia orientata agli oggetti (*object oriented*) per rappresentare i singoli domini ambientali;
- ? raggruppare i singoli domini al fine di creare un modello concettuale del sito.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	7	25

2. LA CARATTERIZZAZIONE DI UN SITO PER L'UBICAZIONE DI UN DEPOSITO SUPERFICIALE DI RIFIUTI RADIOATTIVI

2.1. LE ESIGENZE DI CARATTERIZZAZIONE NELL'AMBITO DEL DEPOSITO DI RIFIUTI RADIOATTIVI

La realizzazione di un deposito superficiale per rifiuti radioattivi di II categoria presenta alcune complessità tecnico-ingegneristiche. Allo stesso modo definire con precisione quali possono essere le interazioni derivanti dall'esercizio del deposito con l'ambiente esterno non è immediato; in particolare modo per definire il comportamento dei domini ambientali, qualora interessati da potenziali fenomeni incidentali.

Il principale obiettivo di uno studio di caratterizzazione ambientale riguarda la definizione qualitativa e quantitativa dei parametri che rappresentano ciascuna matrice ambientale nell'area oggetto di studio; in questo ambito ricadono ovviamente anche le componenti biologiche, che però non sono qui trattate. In seguito si dovranno individuare le interconnessioni esistenti tra i singoli domini e le possibili interazioni dell'opera con l'ambiente circostante, secondo una tecnica di previsione. L'identificazione degli impatti previsti durante il ciclo di vita dell'infrastruttura esula dal presente lavoro.

Per la realizzazione del deposito la completa caratterizzazione dovrà rispondere a precise esigenze di:

- ? esaustività, per raccogliere tutti gli elementi che possono definire il sistema;
- ? dettaglio, per disporre di informazioni precise sui parametri ambientali.

Queste sono caratteristiche che non sempre vengono premiate nelle attività di caratterizzazione ambientale dei siti; per tal motivo è opportuno procedere ad un approccio ragionato, che si basa su alcuni principi base ereditati dalla teoria dei sistemi.


Lo schema che verrà di seguito presentato risponde anche alla necessità di comunicare in maniera chiara ed esaustiva i risultati degli studi di caratterizzazione al pubblico, che deve essere correttamente informato circa il contesto in cui l'opera verrà inserita, nonché sui rischi cui la popolazione può essere soggetta. Un rapporto di comunicazione trasparente con le popolazioni che vivono nei territori in questione è la condizione necessaria, anche se non sufficiente, per costruire un rapporto costruttivo tra tutti i portatori di interesse nella realizzazione dell'opera.

2.2. LE FINALITÀ DI MODELLIZZAZIONE DI UN SITO NUCLEARE

La modellizzazione di un sito che ospita un'infrastruttura nucleare è importante negli studi radioprotezionistici, che permettono di quantificare l'impatto radiologico dell'eventuale rilascio di radionuclidi; in questo modo è quindi possibile giungere a valutare indirettamente la sicurezza del sito stesso (Brennwald and Van Dorp, 2009).

ENEA	Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		NNFISS – LP4 - 005	0	L	8	25

La costruzione di un modello concettuale che rappresenta in maniera affidabile il sito di studio presenta un ulteriore vantaggio, dato che il deposito, come ogni altra infrastruttura, può essere soggetto agli effetti dei fenomeni legati ai cambiamenti climatici (processi di erosione del suolo, inondazioni, fenomeni legati alla desertificazione, ecc.). Conoscendo le caratteristiche dei singoli domini ambientali è possibile prevedere l'impatto che questi eventi possono avere sul territorio circostante e sull'infrastruttura stessa. Ovviamente questo discorso è applicabile in modo più esteso a tutti gli eventi estremi che possono interessare il deposito, non solo a quelli legati ai mutamenti climatici.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	9	25

3. DESCRIZIONE DELL'APPROCCIO METODOLOGICO PROPOSTO

3.1. UN APPROCCIO STRUTTURATO E FLESSIBILE PER GLI STUDI DI CARATTERIZZAZIONE

Il contesto geologico-ambientale su cui insisterà il deposito può essere descritto come un network di matrici ambientali, ognuna con proprie caratteristiche, a loro volta suddivise in una serie di singoli domini. L'obiettivo da perseguire consiste nell'individuazione delle caratteristiche determinanti lo stato di ciascun dominio ambientale e le relazioni intercorrenti tra gli stessi.

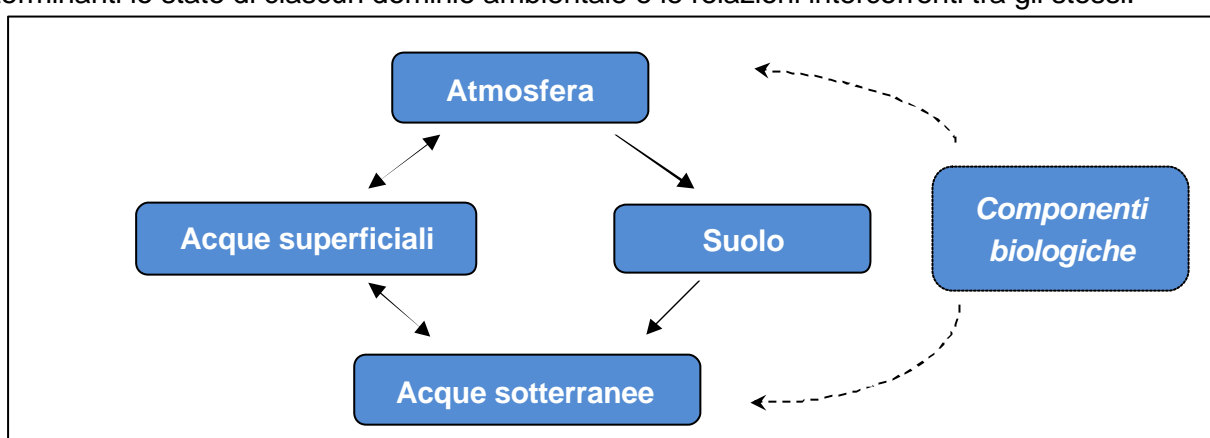



Fig. 1 - Le matrici ambientali nella caratterizzazione di un sito.

Per perseguire l'obiettivo proposto e per le esigenze esposte nei precedenti paragrafi, l'approccio metodologico farà riferimento ai seguenti strumenti:

- ? tecnica *top down* per la comprensione del sistema (§ 3.2);
- ? procedura iterativa per separare i domini ambientali (§ 3.2);
- ? paradigma orientato agli oggetti per rappresentare i singoli domini e modellizzare il sito (§ 3.3).

Il metodo proposto è trasparente, perché procede per passi successivi e, per ciascuna fase di avanzamento, definisce il dominio ambientale di studio e le caratteristiche indagate. Appare subito evidente se particolari aspetti di un certo dominio di indagine non sono adeguatamente studiati, col rischio di indurre lacune interpretative o ancora peggio di creare problemi nei processi di simulazione. In questo modo si può giungere ad un adeguato approfondimento per ciascuna matrice ambientale, adattandosi alle necessità contingenti che potrebbero sorgere durante il progredire degli studi; può permettere altresì di rispondere al criterio di esaustività di indagine che deve permeare tutta la procedura di caratterizzazione.

Come già accennato nella sezione introduttiva, un simile approccio può essere impiegato anche in altri contesti di caratterizzazione ambientale, non solo per la selezione del sito per il deposito di rifiuti radioattivi; questo soprattutto grazie ai principi chiave su cui si basa che, come vedremo, hanno dato risultati notevoli in varie altre discipline di impiego.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	10	25

3.2 ANALISI TOP DOWN PER CARATTERIZZARE IL SISTEMA AMBIENTE

L'approccio di studio di tipo *top down* è ampiamente utilizzato in numerose discipline, non solo scientifiche, ma anche sociali, economiche, ecc., oltre ad essere impiegato nella costruzione di algoritmi per la soluzione di problemi complessi. In particolare nel contesto ambientale sono stati elaborati metodi di studio e valutazione che si basano su questo tipo di criterio, ad esempio per la gestione delle risorse idriche superficiali (Brizga et al., 2002) e sotterranee (Ivkovic, 2009), dimostrando tutte le potenzialità dello strumento.

Nel contesto del deposito, il primo aspetto riguarda la suddivisione del sistema-ambiente in matrici ambientali (aria, suolo, ecc.), ognuna successivamente divisa nei suoi costituenti fondamentali, qui definiti domini ambientali. L'insieme dei domini ambientali può essere a sua volta diviso gerarchicamente, mediante partizione, in unità di dimensione progressivamente inferiore, per poi procedere alla loro caratterizzazione. E' evidente che le successive iterazioni nella partizione del sistema comportano la creazione di una struttura gerarchica dei domini ambientali, che risulteranno progressivamente più dettagliati e specializzati.

La partizione del sistema avviene con un livello di dettaglio che deve essere deciso a priori in sede tecnica, tra i diversi attori che, con molteplici competenze, contribuiranno agli studi e alle valutazioni. Ma tale livello di dettaglio potrà anche essere mutato in corso d'opera, se dovessero nascere particolari necessità o si dovessero prospettare eventuali problematiche.

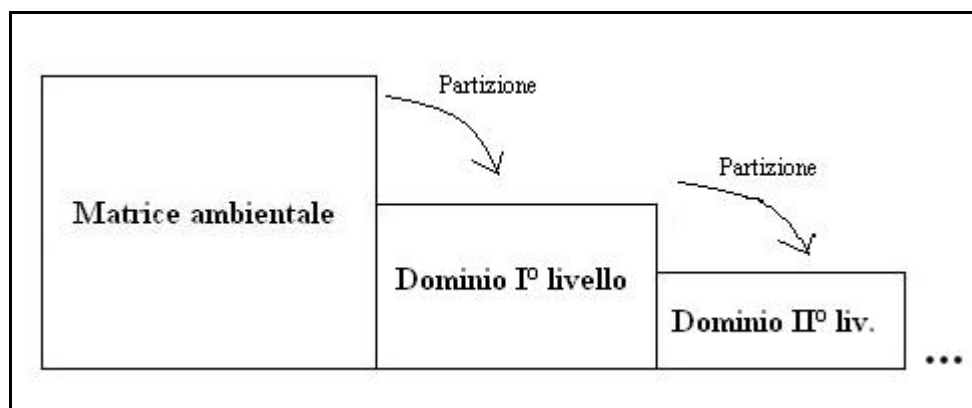



Fig. 2 - Rappresentazione grafica della suddivisione del sistema-ambiente.

Questo processo fornisce una certa flessibilità agli studi di caratterizzazione; infatti il principio su cui si basa non prevede che a priori vengano decise tutte le indagini potenzialmente utili. Durante la suddivisione delle singole matrici ambientali e dopo una prima serie di studi per definirne le caratteristiche di massima, si passa ad una fase di dettaglio che definisce quali indagini servano per individuare i domini ambientali di primo livello. Caratterizzati tali domini, si procede a definire le indagini per individuare i domini ambientali di livello gerarchico inferiore, per giungere alla loro caratterizzazione. La procedura si conclude nel momento in cui si è raggiunto un sufficiente dettaglio nelle analisi. Il passo conclusivo consiste nella ricombinazione delle singole unità per rappresentare il modello concettuale del sito nella sua completezza.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	11	25

Sebbene scomporre il sistema ambiente possa risultare inizialmente impegnativo, proprio questo sforzo induce un'attenta considerazione di tutte le caratteristiche del dominio stesso, considerate nella loro complessità e nel loro dettaglio.

3.3 APPROCCIO OBJECT ORIENTED PER RAPPRESENTARE LE COMPONENTI DEL SISTEMA AMBIENTE

L'utilizzo di un concetto astratto per rappresentare elementi concreti del nostro mondo è una modalità di rappresentazione della realtà, che facilita la comprensione e la soluzione di particolari problematiche. La modellazione orientata agli oggetti permette di rappresentare concetti o elementi del mondo reale, mediante entità astratte, che contengono nella loro rappresentazione delle particolari caratteristiche (*attributi*) e delle *funzioni di interazione* con l'ambiente esterno.

Nel settore informatico questo approccio permette di progettare e strutturare potenti applicazioni software; già negli anni '60 del novecento si introdusse il paradigma *object oriented* (OOP) per rappresentare elementi della realtà umana e poterli tradurre in entità discrete (*oggetti*) che potevano così essere implementate in software di simulazione (Dahl e Nygaard, 1967). Questo paradigma ha avuto un tale successo che rappresenta oggi una delle principali modalità di programmazione esistenti e che deve il suo enorme sviluppo all'evoluzione di linguaggi quali Java e C++. E' opportuno sottolineare che questo aspetto necessita di uno sforzo notevole di astrazione, per poter ricondurre un elemento della realtà ad un concetto rappresentabile in modo astratto e poterne poi definire caratteristiche e rapporti con il mondo esterno.


Queste nozioni non trovano impiego solo nell'informatica, ma possono essere utilmente impiegati per la descrizione di sistemi più o meno complessi, visto che il processo di astrazione serve a caratterizzare e rappresentare qualsiasi parte di un sistema reale. Questi concetti sono oggi dominio di diverse discipline, in particolare nei seguenti settori:

- ? modellizzazione delle acque sotterranee (Jackson e Spink, 2004);
- ? gestione del territorio (Tucker et al., 2001);
- ? sistemi distribuiti per la raccolta e gestione delle informazioni (Cheng et al., 1994);
- ? supporto alle decisioni per la gestione delle risorse idriche (Simonovic et al., 1997).

L'ambiente in cui viviamo rappresenta sicuramente un sistema complesso; per tale ragione una approccio strutturato di tipo *object oriented*, che permette di conoscerne e rappresentarne le caratteristiche, costituisce una buona modalità di lavoro, soprattutto in un contesto delicato come quello nucleare.

3.3.1 *Gli oggetti come elementi di rappresentazione della realtà*

Nel prosieguo non faremo riferimento in maniera formale alla rappresentazione degli *oggetti* come richiesta nelle discipline informatiche, cioè a tutti gli aspetti relativi a concetti di *ereditarietà*, *interfaccia*, *polimorfismo*, ecc. Ci riferiremo unicamente a quegli elementi che possono tornare utili nella caratterizzazione e rappresentazione dei domini ambientali, all'interno di un sito destinato all'ubicazione del deposito; ne consegue che utilizzeremo questo paradigma di astrazione in modo abbastanza semplice ed intuitivo.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	12	25

Una *classe* costituisce una rappresentazione astratta di un elemento del nostro mondo ed è dotata di particolari caratteristiche statiche e dinamiche. Ogni *oggetto* rappresenta a sua volta un'istanza di una *classe*, cioè la sua specifica concretizzazione; oltre che dal suo nome o identificativo, è rappresentato da:

- ? *attributi*, cioè proprietà che lo caratterizzano;
- ? *funzioni di interazione*, che gli permettono di relazionarsi con gli oggetti adiacenti.

3.3.2 Gli oggetti come elementi di rappresentazione del contesto ambientale

I principi esposti nel precedente paragrafo trovano applicazione in maniera diretta nel contesto geologico-ambientale. Ad esempio si potrebbero rappresentare i corsi d'acqua che insistono su una certa area come appartenenti ad una *classe*, che potremmo definire *Acque_superficiali*. Ogni corpo idrico superficiale (istanza della classe *Acque_superficiali*) è infatti unico e può essere caratterizzato da *attributi*, quali il regime idraulico, le portate medie, minime, massime, la lunghezza dell'asta, la presenza di opere idrauliche di contenimento, ecc.; ma anche da *funzioni di interazione* che definiscono ad esempio le relazioni di ricarica/drenaggio da parte delle falde, o gli apporti/prelievi dovuti alla confluenza con altri corpi idrici superficiali. Si può ipotizzare che le derivazioni idriche di origine antropica su un corso d'acqua superficiale possano essere rappresentate come funzione delle portate prelevate nel tempo, cioè una delle *funzioni di interazione* dell'oggetto *corpo_idrico[i]* con il mondo esterno (Figura 3).

Per semplicità è comunque sempre meglio definire a priori le caratteristiche statiche di un *oggetto*, cioè tutti i parametri che lo qualificano; quindi si procede a determinare le sue funzioni di interazione con il mondo esterno, che rappresentano sicuramente un aspetto più complesso.

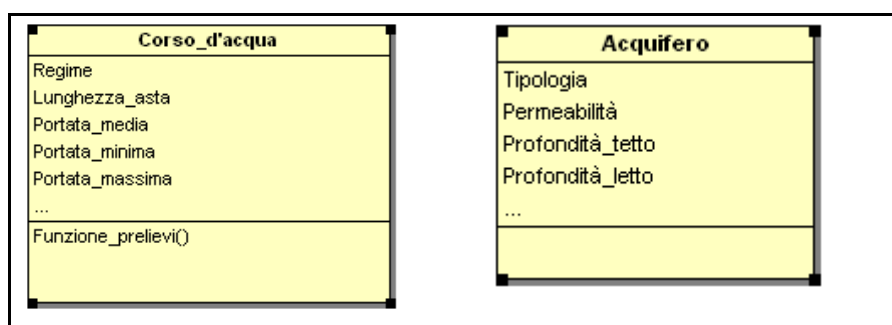



Fig. 3 – Rappresentazione schematica, mediante UML (Fowler, 2004), di due classi che rappresentano due domini del sistema-ambiente.

L'assegnazione dei valori agli *attributi* avverrà durante lo svolgimento degli studi ambientali e delle indagini connesse. Con il procedere delle iterazioni, tali valori diventeranno più precisi ed eventualmente potranno anche aumentare in numero se le necessità saranno tali. Il dettaglio dello studio dipenderà dal numero degli *attributi* e *funzioni* che verranno determinati a priori per ciascuna *classe*. Questa scelta strategica, da cui dipenderà l'accuratezza dello studio, dovrà essere fatta di comune accordo tra le diverse figure professionali che opereranno nelle attività di caratterizzazione, per avere un punto di vista condiviso sull'approfondimento delle indagini; ma

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	13	25

potrà poi essere modificata, per adattarsi a particolari esigenze, come già precedentemente sottolineato.

La metodica permette di identificare ciascun oggetto del sistema-ambiente in modo univoco; definendo a priori gli *attributi* e le *funzioni di classe*, si pone indirettamente l'obbligo di una loro individuazione per ciascun oggetto che appartiene ad una classe. In questo modo si compie un passo ulteriore verso il soddisfacimento delle esigenze di esaustività, dettaglio e trasparenza della caratterizzazione.

Si potrà anche avere un quadro abbastanza chiaro dell'interazione tra i domini ambientali, che risulta fondamentale per chiarire la dinamica di migrazione degli inquinanti nell'ambiente, cioè il passaggio tra un dominio ambientale ed un altro (ad esempio tra un corpo idrico superficiale e un acquifero superficiale).

3.4 PROCEDURA SCHEMATICA PER L'APPLICAZIONE DEL METODO

3.4.1 Fasi di applicazione del metodo

L'applicazione del metodo di caratterizzazione può avvenire nel modo ritenuto più opportuno, seguendo procedure e schemi che meglio si adattano alla situazione. In particolare, visto che si vuole sottolineare l'importanza di un metodo elastico, sarebbe opportuno non definire in maniera stringente le attività da svolgere, ma bensì organizzare un piano di massima per l'applicazione dei principi esposti e modificarlo in corso d'opera in funzione delle eventuali necessità.

In generale si possono comunque identificare quattro fasi nell'applicazione del metodo, ciascuna con alcune attività:

1. inquadramento del sistema;
2. partizione in domini ambientali;
3. caratterizzazione dei domini ambientali e verifica del livello di dettaglio;
4. definizione di un modello concettuale del sito.

Per completezza di descrizione nelle figure 4 e 5 si fornisce uno schema esemplificativo di applicazione, con il dettaglio delle possibili attività da svolgere nelle diverse fasi.

L'applicazione del metodo prevede quindi una prima fase di inquadramento dell'area in cui il deposito dovrà essere inserito, che può essere effettuata sulla base di studi pregressi del sito e mediante la consultazione di tutta la documentazione tecnica di settore, comprensiva ovviamente della cartografia esistente. In questo modo sarà possibile avere una prima visione delle matrici ambientali che possono essere interessate, o comunque influire, sul sito; prime tra tutte i corpi idrici superficiali, le acque sotterranee, l'aria, il suolo.

Si procederà quindi alla partizione di ogni matrice in domini ambientali separati, sulla base delle informazioni derivanti da studi pregressi, mediante la consultazione della cartografia tecnica o tramite specifici rilievi e indagini, condotti direttamente sul terreno, per verificare i primi aspetti tecnici del sito di studio.

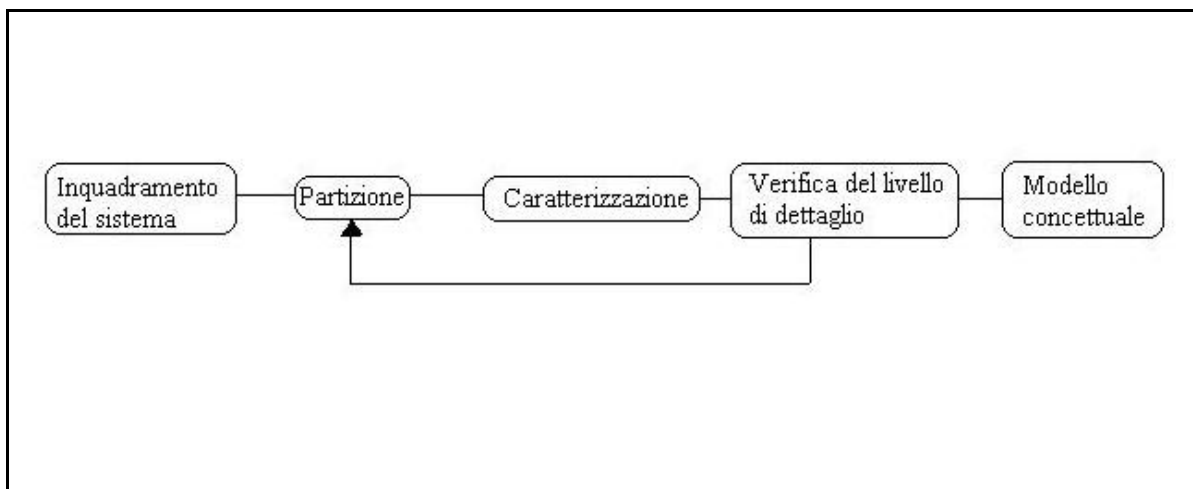


Fig. 4 – Schematizzazione delle fasi di applicazione del metodo di caratterizzazione.

La terza fase prevede che, alla fine della caratterizzazione, si valuti se i domini ambientali necessitino di un'ulteriore partizione. La nuova partizione può avvenire nel caso in cui il livello di dettaglio non sia considerato sufficiente per un corretto inquadramento del problema o nel caso in cui gli *attributi* e le *funzioni di interazione* non siano considerate sufficientemente esaustive per la comprensione di tutte le problematiche esistenti.

Inquadramento del sistema e attività propedeutiche alla sua partizione	<ol style="list-style-type: none"> 1. Individuazione delle matrici ambientali e dei principali domini ambientali. 2. Definizione degli <i>attributi</i> di ciascun dominio ambientale (<i>oggetto</i>) che insiste nel sistema-ambiente del sito. 3. Definizione delle relative <i>funzioni di interazione</i> tra domini ambientali.
Partizione	<ol style="list-style-type: none"> 4. Applicazione della procedura ricorsiva di partizione del sistema.
Caratterizzazione dei domini ambientali	<ol style="list-style-type: none"> 5. Scelta di un dominio ambientale. 6. Definizione delle indagini e degli studi. 7. Esecuzione studi e indagini. 8. Caratterizzazione del dominio ambientale. 9. Verifiche: <ol style="list-style-type: none"> 9.a Verifica della necessità di nuovi <i>attributi</i> o <i>funzioni di interazione</i>. 9.b Verifica del raggiungimento del livello di dettaglio.
Modello concettuale del sito	<ol style="list-style-type: none"> 10. Ricombinazione dei singoli domini ambientali per ottenere un modello concettuale della singola matrice ambientale. 11. Definizione del modello concettuale complessivo del sito.

Fig.5 – Elenco delle principali attività previste per l'applicazione del metodo di caratterizzazione.

3.4.2 Gerarchizzazione dei domini ambientali

L'approccio di tipo *top-down* permette di scindere un ambito di studio in sezioni progressivamente più piccole e per tale ragione provvede anche ad una sua gerarchizzazione; come abbiamo già visto ogni matrice ambientale andrà suddivisa in domini gerarchicamente inferiori, che a loro volta potranno essere ulteriormente suddivisi in unità inferiori. Questo aspetto rappresenta uno dei vantaggi dell'utilizzo di un simile approccio, associato alla modellizzazione *object oriented*; infatti permette la creazione di una *classe* generica, di alto livello, che possiede

ENEA	Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		NNFISS – LP4 - 005	0	L	16	25

attributi e funzioni di interazione, che possono essere ereditati dalle *classi* di livello gerarchicamente inferiore (come riportato in figura 7). In questo modo un elemento del modello, una volta creato, viene riutilizzato più volte, utilizzando le caratteristiche già presenti e introducendone di nuove all'occorrenza.

Nello specifico, la matrice ambientale *Acque_superficiali* può essere ad esempio suddivisa in diversi *corsi_d'acqua*, ognuno a sua volta ulteriormente suddiviso in *sezioni* per identificare particolari caratteristiche (ad esempio le sezioni a monte e a valle di una derivazione idrica o di un'opera idraulica di attraversamento). Nel caso in cui si proceda ad una partizione del corso d'acqua in sezioni, ognuna di queste può essere sempre rappresentata dalla medesima classe *corso_d'acqua*, cui si possono aggiungere gli attributi *inizio_sezione* e *termine_sezione*. Questo modo di procedere concretizza l'elasticità del metodo che permette, come abbiamo visto, il riutilizzo di un *oggetto* in contesti differenti.

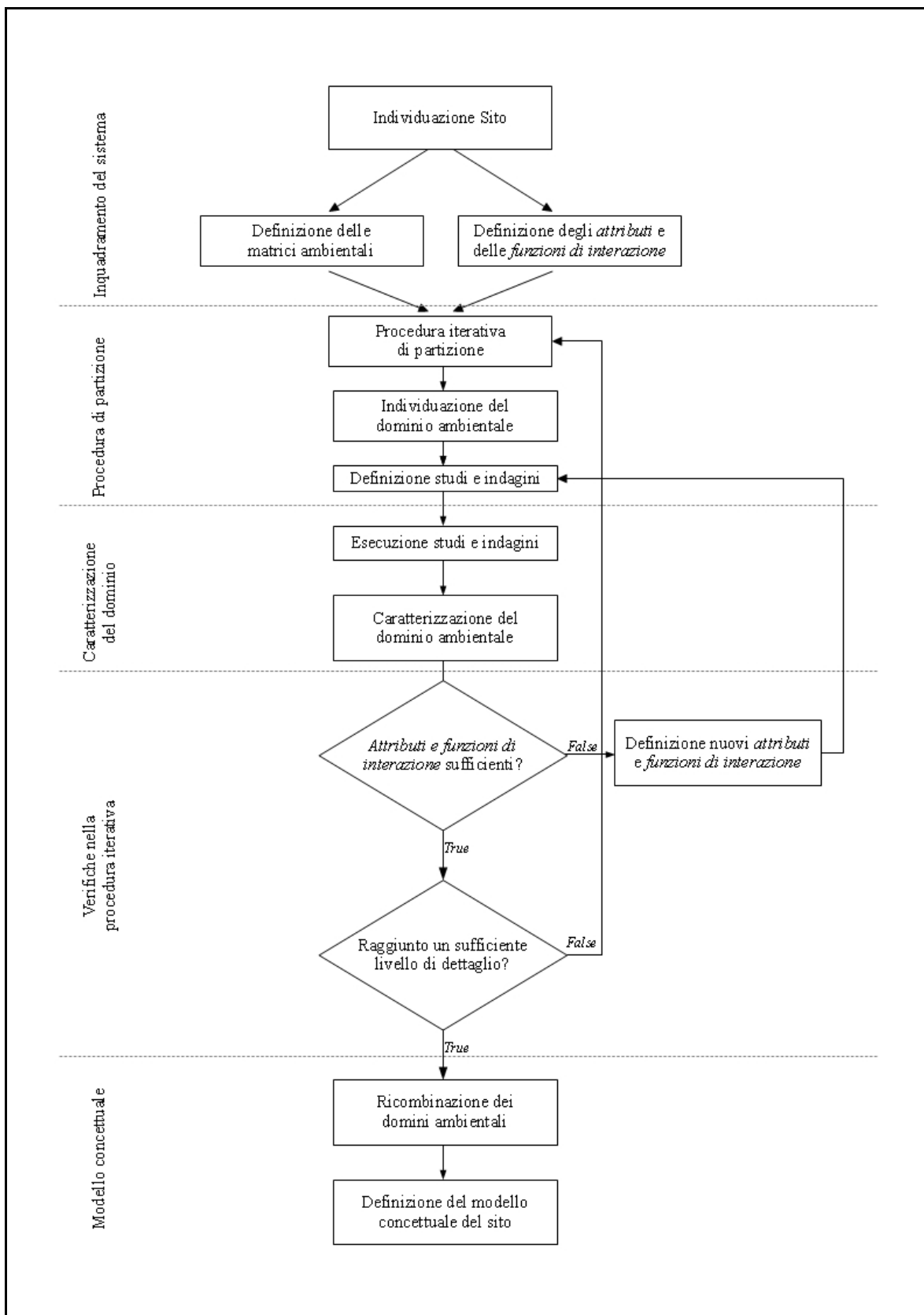



Fig. 6 – Schema di flusso per una possibile procedura di applicazione del modello di caratterizzazione.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	18	25

4 APPLICAZIONE DELL'APPROCCIO PROPOSTO PER LA MODELLIZZAZIONE DEL SISTEMA AMBIENTE

L'applicazione pratica di questo approccio per la caratterizzazione viene di seguito descritta in maniera sommaria, visto che rappresenta una semplice concretizzazione dei principi sopra esposti ed è effettuata riferendosi ad un caso immaginario riferito alla caratterizzazione delle acque sotterranee, che vuole essere esemplificativo di quanto finora discusso.

4.1 PROCESSO TOP DOWN PER LA PARTIZIONE DEL SISTEMA

4.1.1 Suddivisione del sito in matrici ambientali

La suddivisione del sistema ambiente in singole matrici ambientali è il primo passo nella caratterizzazione di un'area. Le matrici ambientali ricorrenti nella quasi totalità dei casi riguardano:

1. Aria
2. Suolo e Zona Non Saturata
3. Sottosuolo
4. Acque o corpi idrici superficiali
5. Acque o corpi idrici sotterranei appartenenti agli
 - ☞ acquiferi superficiali
 - ☞ acquiferi profondi.

Ovviamente in questo caso si tralasciano, come già accennato nei precedenti paragrafi, le componenti biologiche.

4.1.2 Individuazione dei domini ambientali

Le matrici ambientali, primo livello gerarchico nella partizione dell'ambiente, sono suddivise in sottosistemi; a priori però si deve decidere qual è il livello di dettaglio cui si vuole giungere, in caso contrario il processo iterativo sarebbe infinito, visto che non interverrebbe nessuna condizione in grado di arrestarne l'evoluzione. E' ovvio che per rendere elastico il processo, il livello di dettaglio deve risultare modificabile in funzione delle esigenze future che si dovessero venire a creare.

Per le finalità del presente studio si ritiene che il livello di dettaglio sia funzione della tipologia di ogni matrice ambientale, quindi correlato alla sua importanza nel contesto del sito di studio. Ad esempio vi sono infatti aree dove i corpi idrici superficiali sono notevolmente distanti dal luogo di ubicazione di una possibile opera antropica, o sono di limitata dimensione; per tale ragione il livello di dettaglio dedicato al loro studio potrebbe non essere eccessivamente approfondito. Ma tali considerazioni vanno comunque modulate sulle necessità correnti, ad esempio valutando se una matrice ambientale possa costituire un mezzo per la trasmissione dei radionuclidi accidentalmente rilasciati durante l'esercizio del deposito.

Nel prosieguo, si illustrerà la partizione della matrice ambientale *Acque_sotterranee*. Si suppone a tal riguardo che, come accade in gran parte dei sistemi acquiferi delle zone di pianura del nostro territorio, si possano individuare complessi idrogeologici superficiali, a diretto contatto con le acque di superficie, e complessi idrogeologici profondi, idraulicamente separati da quelli superficiali.

Ognuno di questi domini è caratterizzato da precisi parametri idrogeologici, che ne rappresentano gli *attributi* precedentemente descritti all'interno di ogni *classe*. Ma anche da rapporti di interazione con il mondo esterno, cioè le cosiddette *funzioni di interazione* (funzioni di ricarica e drenaggio, funzioni legate al prelievo antropico mediante derivazioni idriche superficiali o sotterranee, ecc.).

4.2 CARATTERIZZAZIONE DEI DOMINI AMBIENTALI

Sulla base di una prima analisi idrogeologica dei dati e degli studi reperiti in bibliografia, si potrebbe effettuare una partizione del sistema in (prima iterazione):

- ? acquifero superficiale libero;
- ? acquifero profondo semiconfinato;
- ? acquifero profondo confinato.

L'attività successiva consiste nella verifica dell'eshaustività e della completezza dei dati raccolti, onde capire l'adeguatezza dell'analisi condotta. Si suppone che le conclusioni raggiunte dai dati bibliografici non siano sufficienti per fornire un quadro esauriente dei tre sistemi idrogeologici. Per tale ragione si dovranno programmare le indagini dirette, indirette e gli studi più appropriati per quantificare la meglio il valore degli *attributi* e delle *funzioni di interazione* e per verificare l'eventuale necessità di includere nuovi parametri di caratterizzazione.

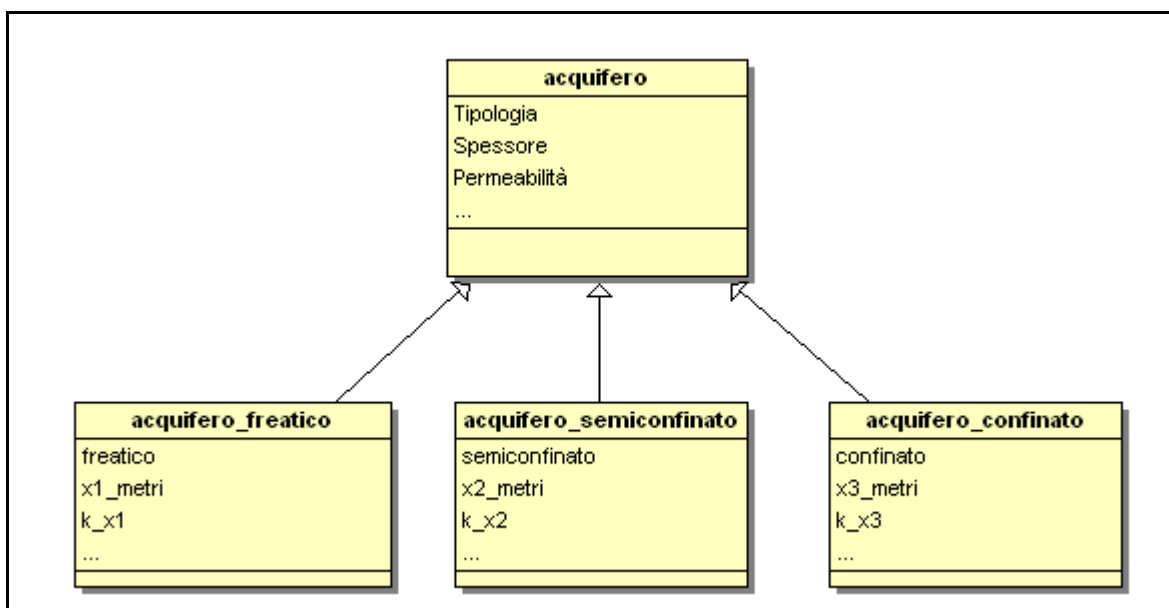


Fig. 7 – Schematizzazione della suddivisione delle acque sotterranee in oggetti.

ENEA	Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		NNFISS – LP4 - 005	0	L	20	25

Programmate ed eseguite le indagini, nonché interpretati i relativi risultati, si dovrebbe giungere ad un quadro complessivo più completo rispetto al precedente, che contempri anche l'individuazione di sottosistemi dei singoli acquiferi, cioè domini di un livello gerarchico inferiore rispetto al precedente. Infatti l'analisi idrogeologica e stratigrafica spesso evidenzia discontinuità litologiche legate all'eventuale presenza di orizzonti particolari, con permeabilità molto bassa, che non rendono omogenea la struttura di un acquifero; il caso tipico è rappresentato da orizzonti limosi-argillosi di una certa estensione, che possono dare un'impronta particolare alle caratteristiche idrodinamiche di un acquifero, ma possono anche rappresentare dei livelli in cui i radionuclidi vengono fermati nella loro migrazione sotterranea. La loro presenza permette di suddividere gli acquiferi in domini a se stanti, concettualmente separati dai rimanenti.

Sulla base di quanto fatto sarà possibile verificare se la completezza delle informazioni raccolte è sufficiente e se siano sostanzialmente dettagliate; in caso contrario si procederà ad un ulteriore partizione del sistema. Ovviamente le successive iterazioni non permettono solamente di procedere ad un ulteriore sezionamento del dominio ambientale studiato, ma bensì anche di aumentare il numero di parametri presi in considerazione nella caratterizzazione e migliorare la loro conoscenza quantitativa. Infatti dal punto di vista della quantità di informazioni è ovvio che le classi gerarchicamente superiori sono anche quelle meno specializzate, cioè quelle che dispongono di dettagli (parametri) inferiori; al contrario, procedendo nella partizione e nell'approfondimento delle indagini, si ricavano sempre maggiori dati dai rilievi, che arricchiscono il quadro tecnico dei domini ambientali studiati, rendendo i domini (*classi*) gerarchicamente inferiori quelli maggiormente specializzati.

La procedura di partizione può continuare ulteriormente, procedendo in un ulteriore scomposizione dei domini, per affinare il dettaglio di studio e approfondire le conoscenze dei parametri idrogeologici, nonché di tutti i necessari caratteri idrodinamici. Il processo si conclude nel momento in cui si dispongono delle informazioni complessive per ricucire il quadro generale dei complessi idrogeologici presenti nel sito, con particolare riferimento alle relazioni complessive con le altre matrici ambientali.

Nell'ambito del processo di suddivisione, i singoli domini potrebbero anche essere classificati in funzione di particolari parametri studiati *ad hoc*, onde giungere a "pesare" la loro importanza alla luce delle previsioni dell'impatto derivante dall'esercizio del deposito. Ad esempio i domini costituenti gli acquiferi sotterranei potrebbero essere classificati in funzione della loro maggiore o minore capacità di trasportare i radionuclidi, quindi in funzione del contenuto in minerali argillosi, della loro permeabilità, degli eventuali fattori di drenanza, ecc.

In figura 8 viene rappresentato una schematizzazione del livello di conoscenza dei parametri idrogeologici, che si approfondisce progressivamente con il progredire delle iterazioni nella procedura di caratterizzazione.

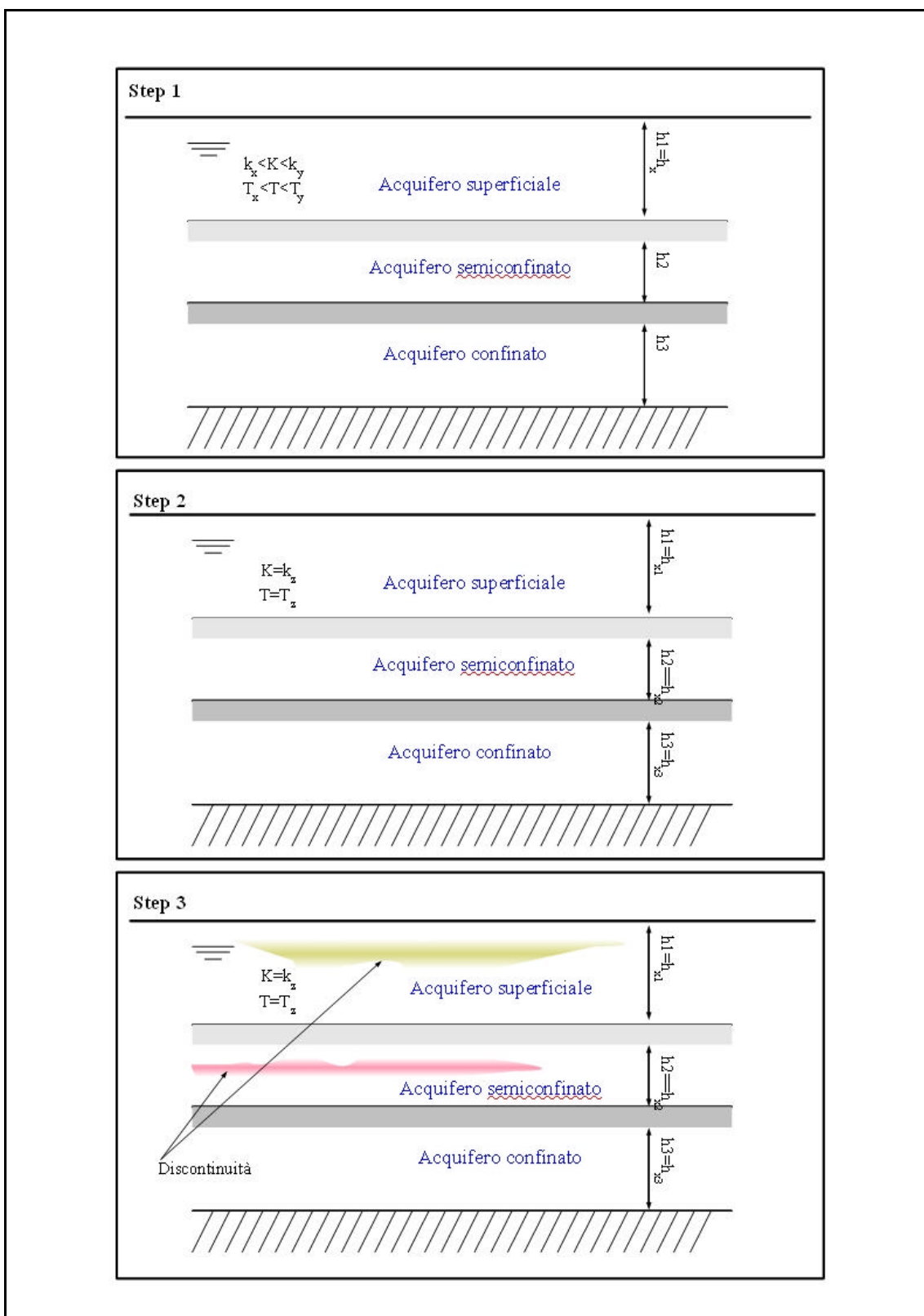



Fig. 8 – Rappresentazione schematica del processo di caratterizzazione della matrice “acque sotterranee” per affinamenti successivi.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	22	25

4.3 INDAGINI TECNICHE E STUDI GEOLOGICO-AMBIENTALI A SUPPORTO DEL PROCESSO DI PARTIZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEL SISTEMA

Gli step del processo di partizione sono strettamente accompagnati dall'analisi delle informazioni e dei dati tecnici disponibili. Anche la raccolta bibliografica sugli studi condotti può fornire un quadro approssimativo del contesto geologico-ambientale dell'area; quindi può essere utilizzata come primo elemento di screening. La raccolta di tutte le fonti bibliografiche esistenti, non comporta tra l'altro un consistente impegno economico e di risorse umane. Questo insieme di documenti, integrato dalle informazioni che possono essere raccolte da altre fonti, può già garantire una suddivisione del sito in singole matrici ambientali.

Indagini e rilievi sul terreno potranno fornire ulteriori dati in grado di capire l'importanza di un certo comparto ambientale nell'insieme delle interazioni opera-ambiente. Ad esempio una prima analisi delle portate dei corsi d'acqua, supportata da rilievi ed esami della cartografia di settore, e di riprese aeree o satellitari, può fornire elementi per giudicare e quantificare l'importanza dei corpi idrici e per completare l'insieme degli *attributi* e delle *funzioni di interazione*.

La concretizzazione di questi concetti la si può vedere nella caratterizzazione degli acquiferi sotterranei. Infatti se la raccolta di dati e informazioni bibliografiche può fornire un quadro complessivo del contesto geoidrologico del sito, solo mediante indagini dirette si può definire un quadro complessivo idrodinamico sotterraneo. I dati bibliografici forniscono solitamente delle indicazioni di massima sulla profondità degli acquiferi e sulle loro principali caratteristiche; ma solo con indagini dirette e indirette si potranno caratterizzare gli aspetti idrodinamici e chimici degli acquiferi, stabilendo anche la loro eventuale uniformità ed omogeneità.

La raccolta dei dati e la loro organizzazione in modo ordinato seguendo il paradigma *object oriented*, può anche costituire la base per la creazione di un futuro database, opportunamente strutturato, che raccoglie tutte le informazioni desunte dalle attività di caratterizzazione del sito. Questo in attinenza alle numerose esperienze in ambito internazionale sulla strutturazione dei dati ambientali georeferenziati attraverso il paradigma *object oriented* (Gartner et al., 2001). Anche in questo caso ciascun elemento del dominio delle informazioni potrebbe già essere strutturato in *classi*, ad esempio ogni perforazione a carotaggio continuo potrebbe costituire un preciso *oggetto*, cioè l'istanza della *classe sondaggio*, caratterizzata da precisi *attributi* (codice, profondità raggiunta, orizzonti stratigrafici, ecc.).

4.4 RICOMBINAZIONE DEI DOMINI NEL QUADRO DI CARATTERIZZAZIONE FINALE

Dopo la partizione del sistema ambiente e dopo la conseguente caratterizzazione dei singoli domini, è opportuno ricostruire un quadro complessivo del sistema indagato. Inizialmente mediante la ricombinazione di ogni singolo dominio ambientale all'interno della matrice di appartenenza; conseguentemente mediante la costruzione del modello concettuale del sito che prevede l'interazione tra tutte le matrici ambientali considerate.

Per tale ragione è necessario aver ben chiare le relazioni tra i singoli sottosistemi; ad esempio è poco serio ricostruire un quadro complessivo dei complessi idrogeologici senza la conoscenza dei legami tra l'acquifero superficiale e quello profondo, oppure senza conoscere, dal

ENEA	Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione NNFISS – LP4 - 005	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 23	di 25
-------------	----------------------------------	---	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

punto di vista quantitativo, le relazioni di alimentazione/drenaggio tra le acque superficiali e sotterranee.

Questa ultima fase del processo può portare a confermare le ipotesi effettuate nelle prime fasi di studio del sito, oppure può confutarle, evidenziando relazioni tra le matrici ambientali che non potevano essere previste durante una prima analisi superficiale dell'area di studio. Proprio per tale ragione le successive iterazioni di partizione del sistema ambiente, con approfondimento della sua conoscenza, rappresentano l'aspetto preponderante di questo approccio alla modellizzazione.

ENEA	Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		NNFISS – LP4 - 005	0	L	24	25


CONCLUSIONI

Il modello di approccio alla caratterizzazione geologico-ambientale qui proposto ha la funzione basilare di definire un quadro di indagini e di studi che possa risultare esaustivo per gli addetti ai lavori, ma anche chiaro e trasparente per il pubblico.

La costruzione di un modello concettuale del sito potrà essere conseguita mediante una procedura iterativa che permetterà, partendo da un insieme limitato di informazioni ambientali e territoriali, di approfondire progressivamente il quadro della conoscenza del sito di interesse. Ovviamente i successivi step delle fasi di analisi dovranno essere definiti e condivisi tra le varie figure tecniche che interverranno nella procedura di caratterizzazione.

L'interazione tra il normale approccio di studio di tipo geologico-ambientale e i principi di modellazione della realtà ereditati dal mondo informatico, possono costituire un valido strumento che permette di raggiungere gli obiettivi citati.

Si può ipotizzare un approfondimento ulteriore di questa proposta, che si potrebbe concretizzare nell'applicazione del modello suggerito ad un sito di studio. Ovviamente disponendo di informazioni e dati da analizzare per poter procedere ad una modellazione del contesto geologico ambientale, evidenziando le problematiche che dovessero insorgere durante il processo iterativo, ma anche i vantaggi emersi durante l'applicazione della procedura.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP4 - 005	0	L	25	25

BIBLIOGRAFIA

Brennwald, M.S., van Dorp, F., 2009. Radiological risk assessment and biosphere modeling for radioactive waste disposal in Switzerland. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 1058-1061.

Brizga, S.O., Arthington, A.H., Choy, S.J., Kennard, M.J., Mackay, S.J., Pusey, B.J. and Warren, G.L., 2002. Benchmarking, a “top-down” methodology for assessing environmental flows in Australian rivers. 4th International Ecohydraulics Symposium “Environmental flows for river systems”, Cape Town, South Africa, 3–8 Marzo 2002.

Cheng, B. H. C., Bourdeau, R. H., Gannod, G.C., 1994. The object-oriented development of a distributed multimedia environmental information system. In *Proceedings of the 6th International conference on software engineering and knowledge engineering*, Jurmala, Latvia, 21-23 giugno, 1994.

Dahl, O. J., Nygaard, K., 1967. Class and subclass declarations. “IFIP TC2 Conference on Simulation Programming Languages”, Oslo, Norway, May 1967.

Fowler, M., 2004. UML Distilled. Guida rapida al linguaggio di modellazione standard. Ed. Pearson Education, Inc.

Gartner, H., Bergmann, A., Schmidt, J., 2001. Object-oriented modeling of data sources as a tool for the integration of heterogeneous geoscientific information. *Computers & geosciences*, 27, 975-985.

Ivkovic, K.M., 2009. A top-down approach to characterise aquifer-river interaction processes. *Journal of Hydrology*, 365, (3-4), 145-155.

Jackson, C.R., Spink, A.E.F., 2004. User’s manual for the groundwater flow model ZOOMQ3D. British Geological Survey Internal Report, CR/04/140N. Disponibile presso l’URL <http://www.bgs.ac.uk/science/3Dmodelling/zoom.html> (Ultimo accesso: 6 luglio 2010).

NEA – OECD, 2009. A common objective, a variety of paths. Synthesis and main lessons: third international conference on geological repositories. Berne, Switzerland, 15-17 October 2007. Disponibile presso l’URL <http://www.nea.fr/rwm/reports/2009/6385-Common-Objective.pdf> (Ultimo accesso: 6 luglio 2010).

Simonovic, S.P., Fahmy, H., El-Shorbagy, A., 1997. The use of object-oriented modeling for water resources planning in Egypt. *Water Resources Management* 11, 243–261.

Tucker, G. E., Lancaster, S. T., Gasparini, N. M., Bras, R. L., Rybarczyk, S. M., 2001. An object-oriented framework for distributed hydrologic and geomorphic modeling using triangulated irregular networks. *Computers and Geosciences*, 27 (8), 959-973.

Ventura, G., 2003. Sistema informativo geografico per il sito del Deposito Nazionale dei Materiali Radioattivi. ENEA.