



Corso di Scienze Forensi
2023

Candidata: Sonia Barsottini

Titolo della Tesi

La geologia forense ed i reati ambientali

Tutor: Dott.ssa Rosa Maria Di Maggio

*“Ai nostri figli e ai nostri nipoti
Possano essi vivere in armonia con l’ambiente della Terra”
Frank Press*

INDICE

1. Riassunto	4
2. Abstract	4
3. Introduzione	5
3.1. Geologia	5
3.2. Geologia forense	5
3.2.1. Un po' di storia	6
4. Reati ambientali	8
4.1. Normativa di riferimento	8
4.1.1. Legge 22 maggio 2015 n. 68	10
4.1.2. Tipologie	11
4.2. Ruolo del geologo forense	12
4.3. Strumenti e tecnologie	13
4.3.1. Indagini storiche ed analisi della cartografia tematica	13
4.3.2. Rilevamento da remoto	14
4.3.3. Rilevamento in sito ed analisi di laboratorio	15
5. Conclusioni	16
6. Bibliografia/Sitografia	17

1. Riassunto

La presente tesi tratterà la geologia forense, un'affascinante nonché utile applicazione della geologia. Le scienze della Terra hanno molti ambiti di applicazione dallo studio dell'evoluzione e della formazione della Terra all'interazione tra uomo ed ambiente attraversando le ere geologiche, lo studio dei processi che hanno plasmato, modellato e cambieranno la crosta terrestre, i giacimenti che ci forniscono le materie prime di cui abbiamo bisogno, la formazione dei suoli. All'interno di ciascuno di questi ambiti sono presenti molti tipi di applicazioni che stabiliscono una formazione specifica del geologo, quella sui cui si focalizzerà la presente tesi è appunto la geologia forense che applica le scienze della Terra al momento del verificarsi di un illecito o presunto tale.

2. Abstract

This thesis was about forensic geology, an amazing and useful application of geology. Earth sciences applications are many, from the study of formation and evolution of Earth pass through geological eras, study of processes that have shaped, shape, and will change the earth's crust, the deposits that provide us raw materials, the formation of soils. Among those fields of study mentioned there are a lot of applications that decide the geologists training, this thesis is focusing on forensic geology that apply geology to crimes or alleged crimes.

3. Introduzione

Come anticipato in premessa la presente tesi tratta la geologia forense, applicazione della geologia; è necessario differenziare le figure del geologo e del geologo forense, la formazione iniziale e di base è sostanzialmente molto simile, ogni geologo/a ha una sua formazione specifica dopo di che il geologo/a forense seguirà al momento, purtroppo, solo un approfondimento, nell'ambito delle scienze forensi poiché il suo intervento è necessario al verificarsi di un illecito o presunto tale. Questa figura professionale dovrà quindi saper interagire con altre figure professionali, con le forze dell'ordine, con gli organi giudiziari.

3.1. Geologia

La geologia, dal greco “ge” Terra e “logos” studio, è la branca delle scienze della Terra che studia la storia evolutiva del nostro Pianeta, analizzando gli effetti dei processi che lo hanno plasmato e che lo stanno ancora cambiando. A questi studi si collegano gli ambiti della geologia strutturale per quanto riguarda i movimenti più o meno profondi della crosta terrestre (formazioni geologiche, faglie, terremoti...), la paleontologia, la geomorfologia che studia la parte più superficiale della crosta terrestre e quindi la morfologia terrestre, i suoi processi e le criticità (frane, crolli...). La geologia studia gli ambienti di formazione delle materie prime (minerali ed idrocarburi) ed altre risorse come acqua, aria e suolo, quelle definite “matrici ambientali”; in questo contesto la geologia si occupa anche di analizzare le interazioni tra uomo ed ambiente, ne studia le criticità calcolando anche i rischi delle attività umane. Ad occuparsi di questi ambiti sono la geofisica, analisi del sottosuolo con indagini geofisiche, la geologia applicata e geotecnica per la conoscenza del sottosuolo, la geologia ambientale e la pedologia che studiano le matrici ambientali, suolo, acqua, aria e le interazioni con le attività umane soprattutto analizzando i rischi come possono essere i dissesti naturali, l'inquinamento ecc... Per questo motivo la geologia sta diventando una disciplina sempre più fondamentale nella valutazione delle risorse, nell'analisi dei rischi naturali ed antropici.

3.2. Geologia forense

La geologia forense appartiene alle geoscienze forensi ovvero l'applicazione dei principi e delle tecniche delle geoscienze (tra cui geologia, geomorfologia, mineralogia, botanica...) ai procedimenti civili o penali [1]; infatti, le numerose branche delle scienze della terra possono fornire informazioni utili per comprendere il contesto ambientale di numerose tipologie di crimini. L'ambiente essendo un sistema aperto, nell'ambito criminale, può essere protagonista attivo o passivo [2]; è, infatti, passivo poiché trattiene tracce di chi lo frequenta (qualsiasi sia il suo ruolo nel reato). Attivo poiché può lasciare tracce sui diversi attori che prendono parte al

crimine ma anche poiché è esso stesso vittima come nei casi di reati contro l'ambiente, abusi in fase di progettazione di infrastrutture, discariche o altri manufatti.

3.2.1. Un po' di storia

I primi cenni dell'applicazione delle scienze forensi per risolvere dei casi giudiziari risalgono all'antichità; nel *“De bello Gallico”* scritto tra il 58 ed il 50 a.C. da Giulio Cesare o sotto sua dettatura, si racconta di come lo stesso Giulio Cesare fosse in grado di riconoscere la provenienza delle truppe nemiche durante le guerre per la conquista della Gallia dal terreno presente sotto gli zoccoli dei cavalli. Si trova un riferimento anche in un aneddoto legato ad Archimede [3], Vitruvio, infatti, racconta di come gli studi di idrostatica fossero iniziati dopo che Gerone II incaricò Archimede di trovare il modo di stabilire se una corona fosse stata di oro puro o di altre leghe di metalli. Archimede dopo essersi immerso in un bagno caldo, vedendo sollevarsi il livello dell'acqua nella vasca suggerì al sovrano di pesare la corona ed un equivalente in peso di oro, immersi in acqua. Se la corona fosse stata in oro la bilancia sarebbe stata in equilibrio ma se si fosse alzata dalla parte dell'oro, la corona doveva aver subito una spinta maggiore e quindi aveva un volume maggiore; ciò implicava la presenza di altri metalli.

La prima pubblicazione vera e propria dell'applicazione della geologia forense ad un caso, risale al 1856, quando, sulla rivista *“Science and Art”* appare un articolo riguardante la consultazione di uno scienziato nel caso di sostituzione tra un sacco di sabbia ed uno di argento [3]. Brevemente, su un convoglio che percorreva la ferrovia prussiana fu caricato un sacco di argento che all'arrivo risultò essere stato sostituito con un sacco di sabbia; lo studio prevede la comparazione delle sabbie ritrovate presso le stazioni della ferrovia fino a che non ne fu trovata una compatibile.

Dopo questo però per molti anni non sono più riportate notizie di applicazione delle scienze forensi ai casi giudiziari. Alla fine dell'Ottocento lo scrittore Sir Arthur Conan Doyle nei suoi racconti della celebre serie di romanzi *“Le avventure di Sherlock Holmes”* inserisce l'osservazione delle tracce dei terreni per la risoluzione di casi giudiziari. Nel romanzo *“A Study in scarlet”* J. Watson descrive la capacità di Sherlock Holmes di distinguere i terreni uno dall'altro; racconta che durante le loro passeggiate, Holmes, gli mostra le macchie di fango sui suoi pantaloni e gli dimostra come il loro colore e la loro consistenza gli permettano di riconoscere le zone di Londra in cui sono state fatte. In un altro racconto si descrive come Holmes riconosca su un paio di stivali un terreno ricco in gesso. Seppur non applicati alla realtà questi racconti dimostrano come l'autore fosse consapevole dell'importanza delle caratteristiche dei terreni nelle applicazioni forensi; nonostante molte delle metodologie

descritte nei romanzi siano inapplicabili nella realtà, forse inconsapevolmente, Conan Doyle elaborò una bozza di quelle che adesso sono le basi dello studio dei terreni in ambito forense[3]:

- Il numero di terreni è quasi illimitato
- I terreni possono cambiare le loro caratteristiche anche in brevi distanze
- Tutte le persone possono avere tracce di terreno sui loro vestiti, calzature, o veicoli semplicemente venendo in contatto con tali materiali
- L'esame dei terreni può aiutare a collocare una persona nel luogo ove è venuta in contatto con essi

È in questi anni che le scienze forensi iniziano a prendere forma e spazio, infatti nel 1893 fu pubblicato il libro “*handbuch für untersuchungsrichter*” (poi tradotto in inglese “*Criminal investigation*”) di un professore di criminologia austriaco Hans Gross, il quale con lungimiranza, propose l'applicazione dei metodi scientifici per supportare le indagini in casi criminali, includendo le scienze della terra e la mineralogia per studiare, a suo dire, “la polvere e la sporcizia presente sulle scarpe e sui vestiti di un indagato”.

Successivamente, nei primi anni del '900, quando il chimico tedesco Georg Popp risolse un caso di omicidio con la mineralogia per la prima volta si riconobbe il valore delle indagini geologiche. Lo studio infatti confermò che la sequenza temporale dei terreni ritrovati sugli indumenti del sospettato fosse compatibile con la dinamica omicidiaria. Tra il 1910 ed il 1912 Edmond Locard, medico e criminologo forense, finalizzando i suoi studi scientifici alla soluzione dei casi criminali, focalizzando l'interesse su come vari materiali, tra cui quelli geologici, potessero venire in contatto e trasferirsi su varie superfici sotto forma di tracce, postulò il famoso **principio di scambio** ponendo le basi del repertamento e dell'esame di tutte le tracce considerate fonti di prova. “Ogni volta che due oggetti vengono in contatto l'uno con l'altro, c'è sempre un trasferimento di materiale; anche se i metodi di indagine possono non essere sufficientemente sensibili a dimostrare tale scambio o certe situazioni possono eliminarlo, il trasferimento di materiale avviene”, oggi questo principio prende il suo nome.

Durante tutto il Novecento iniziarono così laboratori di geologia forense in vari istituti di polizia scientifica del mondo a partire dal 1939 nel *Federal Bureau Investigation*; a seguire sono stati fatti studi, ampliati gli ambiti di ricerca per ricavare le migliori metodologie e tecnologie.

In Italia l'applicazione delle geoscienze forensi è ancora più giovane nonostante la nascita della Polizia Scientifica nel 1903 per merito del medico legale Salvatore Ottolenghi, solo nei

primi anni '80 fu utilizzata per la risoluzione di importanti casi di sequestri di persona. Nonostante questo, in Italia l'applicazione delle geoscienze forensi subisce un nuovo rallentamento fino ai primi anni 2000, in cui la geologia forense ha riattivato l'interesse delle investigazioni, degli organi di ricerca e dell'Università permettendo nuovi sviluppi ed anche il conio ufficiale del termine "geoscienze forensi" e prendendosi il giusto posto nell'ambito processuale grazie anche alla formazione di professionisti in grado di rispondere prontamente alle varie necessità.

Infine, diverse associazioni scientifiche e scientifico-forensi, sia nazionali che internazionali, hanno creato sezioni e gruppi di lavoro dedicati alle geoscienze forensi tra cui dal 2011 la "Initiative on Forensic Geology (IFG) gruppo di lavoro nell'ambito della *International Union of Geological Science (IUGS)* con lo scopo di promuovere l'utilizzo delle geoscienze forensi in ambiti processuali ed il loro sviluppo [3].

4. Reati ambientali

Come già anticipato la geologia forense comprende differenti discipline delle scienze della Terra e studia diverse tecniche applicabili ai casi giudiziari; di conseguenza lo specchio di azione del geologo forense per il supporto alle attività investigative di Polizia Giudiziaria è molto ampio.

Il geologo forense può intervenire in caso di reati contro l'ambiente, la persona ed il patrimonio mediante la ricerca e l'analisi di informazioni ambientali e territoriali (orografia, geomorfologia, idrografia, idrogeologia, caratteristiche antropiche...) con diverse tecniche, dallo studio delle cartografie tematiche alle analisi con sistemi remoti ed i sopralluoghi *in situ* utilizzabili per la verifica di quanto studiato precedentemente ma anche per la ricerca e l'analisi di tracce inorganiche di origine naturale o antropica che possano essere di supporto alle indagini in corso.

In questo capitolo sono approfonditi i reati ambientali, i più recenti ad essere rientrati nella categoria di reato sia come percezione comune sia dal punto di vista normativo.

4.1. Normativa di riferimento

Con il termine reato ambientale si intendono quei comportamenti idonei a mettere in pericolo o ledere l'ambiente benché non esista una vera e propria definizione giuridica di ambiente; si può fare riferimento alla definizione della sentenza n. 378/2007 della Corte costituzionale secondo cui "l'ambiente è un bene giuridico che, in senso unitario, coesiste con beni giuridici che hanno ad oggetto componenti del bene 'ambiente'".

L'ambiente è tutelato dalla Costituzione all'art. 9 che recita **"la Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio ed il patrimonio storico e artistico della Nazione. Tutela l'ambiente, la biodiversità e gli ecosistemi, anche**

nell'interesse delle future generazioni. La legge dello Stato disciplina i modi e le forme di tutela degli animali”.

Oltre ad essere tutelato da uno dei principi fondamentali della Costituzione, l'ambiente è entrato nel quadro normativo nazionale anche in seguito all'acquisizione di direttive europee; ne sono un esempio il D. Lgs. 5 febbraio 1997 n. 22 in attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio detto anche “Decreto Ronchi” ed il successivo D. M. 25 ottobre 1999 n. 471 regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi del decreto Ronchi e successive modificazioni. Questi decreti sono alla base della classificazione dei siti inquinati e dei protocolli necessari alla messa in sicurezza, la bonifica ed il ripristino ambientale mediante l'utilizzo di limiti tabellari e procedure stabilite. Queste norme sono state raccolte, ordinate e modificate dal D. Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 (Testo Unico Ambientale o Codice dell'Ambiente) che recepisce anche le direttive 2001/42/CEE del Parlamento europeo e del Consiglio del 27 giugno 2001, concernente la valutazione degli effetti di determinati piani e programmi sull'ambiente, 85/337/CEE del Consiglio del 27 giugno 1985, come modificata dalle direttive 97/11/CE del Consiglio del 3 marzo 1997, 2003/35/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 26 maggio 2003, concernente la valutazione di impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati, nonché riordino e coordinamento delle procedure per la valutazione di impatto ambientale (VIA), per la valutazione ambientale strategica (VAS) e per la prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento (IPPC), la direttiva 96/61/CE del Consiglio, del 24 settembre 1996, sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento, la direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque.

Il D. Lgs. 152/06 che ha subito più di 100 modificazioni/integrazioni soprattutto in adeguamento a direttive europee, non si limita a raccogliere e riordinare la disciplina precedente ma interviene modificandone i contenuti, anche in modo radicale, attraverso nuove previsioni, nuovo riparto di competenze e modifica degli obiettivi da perseguire, cambia, di conseguenza, l'approccio per la definizione dell'inquinamento di un sito.

Il Codice dell'ambiente è composto di sei parti principalmente predisposte per la difesa e la tutela delle matrici ambientali e gestione dei rifiuti; le parti sesta e sesta-bis comprendono le norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente e la disciplina sanzionatoria degli illeciti amministrativi e penali in materia di tutela ambientale. Questi provvedimenti comprendono contravvenzioni, sanzioni amministrative ed obblighi di ripristino/bonifica secondo il principio del “chi inquina paga”. Le sanzioni penali erano comminate solo tramite forzature interpretative degli

articoli presenti nel Codice penale del 1930[3]. Recependo la Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio 2008/99/ CE del 19 novembre 2008, che istituisce misure collegate al diritto penale allo scopo di tutelare l'ambiente in modo più efficace e che impone agli Stati membri uno *standard* minimo di tutela penale, limitato alle violazioni ambientali lesive del bene ambiente al fine di garantire la protezione dei beni naturali e della salute è stata introdotta la Legge 22 maggio 2015, n. 68 “Disposizioni in materia di delitti contro l'ambiente” (G.U. 28 maggio 2015, n. 122).

Le Regioni e Province Autonome possono legiferare liberamente all'interno del quadro normativo nazionale; ne sono un esempio le Agenzie regionali o provinciali per la protezione ambientale (ARPA/APPA) e le altre leggi istituite per la protezione delle matrici ambientali, la protezione degli *habitat*, della flora e della fauna. ¹

4.1.1. Legge 22 maggio 2015 n. 68

La Legge n. 68/2015 ha introdotto, nuovi delitti a salvaguardia dell'ambiente nel Codice penale istituendo misure collegate al diritto penale allo scopo di tutelare l'ambiente in modo più efficace. L'articolo 1 di questa legge introduce nel Codice penale un nuovo titolo VI-bis nel libro secondo, posizionato volutamente così vicino al titolo concernente i delitti contro l'incolumità pubblica (titolo VI – libro secondo) [3] al fine di sottolineare la connessione tra la tutela dell'ambiente e lo sviluppo biologico e psichico dell'uomo valorizzando il bene giuridico ambiente in virtù del legame con gli esseri umani.

I cardini della Legge 68/2015 sono l'**inquinamento ambientale** (art. 452-bis) e il **disastro ambientale** (art. 452-quater) [3] ma le nuove tipologie di reato introdotte da questa nuova norma sono anche il traffico ed abbandono di materiale radioattivo, impedimento di controllo e omessa bonifica. Le novità apportate dalla Legge 68/2015 non sono solo legate all'introduzione di nuovi reati e rispettive condanne, ad esempio, il significativo **ravvedimento operoso**, normato dall'art. 452-decies [3]. Originariamente previsto come causa di non punibilità adesso è attenuazione della pena nel caso in cui, prima dell'apertura del dibattimento in primo grado, si eviti che l'attività illecita provochi ulteriori conseguenze lesive, si provveda

¹ La Regione Toscana disciplina le attività della Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale con la Legge Regionale 22 giugno 2009, n. 30 “Nuova disciplina dell'Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana (ARPAT)”, la valutazione strategica ambientale definita dalla parte 2 del D. Lgs. 152/2006 con la Legge Regionale 12 febbraio 2010 n. 10 "Norme in materia di valutazione ambientale strategica (Vas), di valutazione di impatto ambientale (Via) e di valutazione di incidenza" come modificata dalla L.R. 17 febbraio 2012 n.6. Altre leggi per la protezione dell'ambiente e sue componenti sono la Legge Regionale 28 dicembre 2015, n. 80 “Norme in materia di difesa del suolo, tutela delle risorse idriche e tutela della costa e degli abitati costieri” e Legge Regionale 31 maggio 2006, n. 20 “Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento” attuate mediante regolamenti regionali come, ad esempio, il regolamento 16 agosto 2016, n. 61/R “Regolamento di attuazione dell'articolo 11, commi 1 e 2, della legge regionale 28 dicembre 2015, n. 80 recante disposizioni per l'utilizzo razionale della risorsa idrica e per la disciplina dei procedimenti di rilascio dei titoli concessori e autorizzatori per l'uso di acqua” oppure il regolamento 8 settembre 2008, n. 46/R “Regolamento di attuazione della legge regionale 31 maggio 2006, n. 20”.

alla messa in sicurezza, alla bonifica o al ripristino dello stato dei luoghi, oppure si collabori concretamente con l'Autorità giudiziaria alla ricostruzione dei fatti e all'individuazione dei colpevoli. Altre novità sono la **confisca obbligatoria** (art. 452-undecies) delle cose che costituiscono il prodotto o il profitto del reato ambientale o che servirono a commetterlo la quale non si applica nel caso in cui si possa attuare quanto previsto dall'art. 452-decies precedentemente citato; viene prevista ed inserita anche la **confisca come misura di prevenzione** per gli illeciti quali il disastro ambientale, l'attività organizzata per il traffico illecito di rifiuti e l'ipotesi aggravata di associazione per delinquere. È inoltre previsto che i beni confiscati o i loro proventi siano messi nella disponibilità delle pubbliche amministrazioni competenti per la bonifica dei luoghi e vincolati al relativo uso.

Infine, è importante sottolineare l'introduzione di nuove **circostanze aggravanti ambientali applicabili** in tutti i casi in cui un fatto, già previsto come reato, sia commesso allo scopo di eseguire uno o più tra i delitti contro l'ambiente contemplati dal Codice penale, dal D. Lgs. 152/2006 e da altra disposizione di legge poste a tutela dell'ambiente.

4.1.2. Tipologie

La Legge 68/2015 aggiunge ai reati ambientali previsti dalla normativa precedente, tra i quali ricordiamo l'incendio boschivo (423 bis C.p.), inondazione, frana, valanga (426 C.p.), avvelenamento di acque e di sostanze alimentari (439 C.p.), maltrattamento e uccisione di animali (544 ter e bis C.p.), distruzione e deturpamento di bellezze naturali (734 C.p.), l'inquinamento ambientale (452 bis C.p.), il disastro ambientale (452 quater C.p.), il traffico ed abbandono di materiale radioattivo (452 sexies C.p.), l'impedimento di controllo (452 species C.p) e l'omessa bonifica (542 terdecies) [3].

L'articolo 426 del Codice penale punisce con la reclusione da 5 a 12 anni chiunque **cagiona un'inondazione o una frana**, ovvero la caduta di una valanga nella tutela degli individui come parte della comunità da condotte aggressive; **l'avvelenamento delle acque o di sostanze destinate all'alimentazione**, prima che siano attinte o distribuite per il consumo umano, è punito con la reclusione non inferiore a quindici anni dall'art. 439 del Codice penale. **L'inquinamento ambientale**, definito dall'art. 452 bis del Codice penale come la compromissione o il deterioramento, significativi e misurabili, delle acque, dell'aria o di estese o significative porzioni del suolo o del sottosuolo e di un ecosistema, della biodiversità, anche agraria, della flora o della fauna, è punito con la reclusione da 2 a 6 anni e la multa da 10.000 a 100.000 euro [10]. Molto importanti i concetti di significatività e misurabilità, la prima viene valutata dal Giudice di volta in volta, solo dopo la commissione del fatto si può conoscere la gravità della compromissione o il deterioramento; la misurabilità (del deterioramento) è

strettamente legata alla comparazione tra lo stato dell'ambiente prima che la condotta producesse i suoi effetti e lo stato della qualità dell'ambiente dopo aver subito quella condotta [3]. Il **disastro ambientale**, definito dall'art. 452 quater del C. p. costituito dall'alterazione irreversibile dell'equilibrio di un ecosistema, dall'alterazione reversibile dell'equilibrio di un ecosistema la cui eliminazione risulti particolarmente onerosa e conseguibile solo con provvedimenti eccezionali, dall'offesa alla pubblica incolumità in ragione dell'estensione della compromissione, dei suoi effetti lesivi o per il numero delle persone offese o esposte a pericolo, è punito con la reclusione da 5 a 15 anni. Quando questi delitti sono prodotti in un'area naturale protetta o sottoposta a vincolo paesaggistico, ambientale, storico, artistico, architettonico o archeologico, ovvero in danno di specie animali o vegetali protette, la pena è aumentata. Il reato di **pericolo di traffico e abbandono di materiali ad alta radioattività**, delitto commesso da chiunque abusivamente “cede, acquista, riceve, trasporta, importa, esporta, procura ad altri, detiene, trasferisce, abbandona materiale di alta radioattività ovvero, detenendo tale materiale, lo abbandona o se ne disfa illegittimamente”, è punito dell'art. 452-sexies con la reclusione da 2 a 6 anni e con la multa da 10.000 a 50.000 euro. L'articolo 542 terdecies punisce con la pena della reclusione da uno a quattro anni e con la multa da 20.000 a 80.000 euro [10] salvo che il fatto non costituisca un reato più grave, chi obbligato per legge, per ordine del giudice ovvero di un'autorità pubblica, **non provveda alla bonifica, al ripristino o al recupero dello stato dei luoghi**.

In questo contesto è importante sottolineare l'introduzione dell'articolo 452 septies del Codice penale che consente agli organi di controllo di svolgere efficacemente il proprio lavoro, impedendo che per effetto di **condotte di impedimento** [3] (impedire l'accesso anche con ostacoli, mutare artificiosamente lo stato dei luoghi, intralciare o eludere le attività di vigilanza e controllo o compromettere gli esiti dell'attività di vigilanza e controllo) vengano alterate le verifiche e le eventuali acquisizioni di prove di illeciti in materia ambientale e in materia di sicurezza sul lavoro.

4.2. Ruolo del geologo forense

La legge 68/2015 non ha solamente il merito di aver istituito dei reati a protezione dell'ambiente, la conversione degli illeciti ambientali in illeciti penali, infatti, presuppone che per tali reati siano svolte indagini di polizia giudiziaria e iter processuali che inevitabilmente coinvolgano l'attività di esperti tecnici come stabilito dagli art. 61 c.p.c. e artt. 221 e 359 c.p.p..

In questo contesto normativo il geologo forense può essere chiamato nel ruolo di perito o di consulente tecnico, ad operare di concerto con gli organi inquirenti; si occupa di ricercare e

localizzare il potenziale sito inquinato, di verificarne l'effettiva presenza di inquinanti e di caratterizzarli, sia nella tipologia che nella quantità.

Infine, se esplicitamente richiesto dall'Autorità Giudiziaria, si occupa di fornire indicazioni sugli eventuali piani di bonifica ambientale, sulla base delle evidenze emerse nel lavoro di indagine [3]. Le attività del geologo sono finalizzate a comprovare se, in merito al procedimento giudiziario in questione, ci siano i presupposti dell'illecito ambientale, per permettere agli organi competenti di affidare i responsabili alla giustizia. Il lavoro del geologo forense è, quindi, preliminare ad una eventuale azione di bonifica di un sito inquinato, laddove la bonifica sia conseguente ad un illecito a danno dell'ambiente.

A prescindere dalle tipologie di reato, dalle modalità di intervento e dal ruolo che ricopre, l'approccio fondamentale del geologo forense si basa sullo studio, la conoscenza e l'interpretazione dell'ambiente, del territorio geografico, fisico e geologico nel quale l'illecito ha avuto luogo. Questo tipo di approccio è condotto mediante la mappatura attraverso la lettura di cartografia tematica e l'interpretazione del territorio attraverso il telerilevamento ed il rilevamento sul luogo per le correlazioni delle caratteristiche geologiche, geofisiche e geochimiche dell'area in esame.

4.3. Strumenti e tecnologie

Il geologo forense mediante le tecniche applicabili alle discipline delle scienze della Terra è in grado di cercare e raccogliere adeguate informazioni dall'ambiente per porle nello specifico contesto criminale e nella sua dinamica, effettiva o presunta.

4.3.1. Indagini storiche ed analisi della cartografia tematica

In questo campo è obbligo sottolineare l'importanza di un primo sopralluogo, il più presto possibile rispetto a quando è avvenuto l'illecito ed alla chiamata ricevuta, per osservare lo stato dei luoghi nel momento dell'accaduto, fotografare e filmare [4]; questo tipo di sopralluogo è fondamentale per pianificare il lavoro ed indirizzare le ricerche.

Il sopralluogo iniziale è molto importante poiché lo stato dei fatti può essere alterato ad esempio da eventi franosi o dalle operazioni di soccorso che solo recentemente sono accompagnate da foto e video documentali [4]. Dopo questo sopralluogo è importante fare ricerche sulla storia del luogo, edifici eventualmente presenti ed ora abbattuti, aziende non più attive nel presente; questa operazione è necessaria per danni ambientali dovuti a casi di inquinamento precedente, conoscere la storia evolutiva del territorio permetterà di sapere il tipo di azienda che ha prodotto l'inquinamento, mediante il reperimento delle planimetrie storiche si potrà definire la sorgente degli inquinanti e tramite altre informazioni territoriali si

possono individuare casi precedenti sospetti. È infatti, importante associare all'indagine storica altri tipi di ricerca di informazione come ad esempio raccogliere le testimonianze degli abitanti del luogo ed aree limitrofe o di chi frequenta abitualmente quelle zone (ad esempio pendolari per lavoro/studio), reperire dati storici climatici e meteorologici, ricercare articoli di giornali o giornalisti le cui testimonianze in passato non sono state considerate rilevanti, reperire registri che potrebbero contenere informazioni importanti come quelli dei defunti delle parrocchie [4].

Infine, è importante l'analisi della cartografia tematica per l'interpretazione del territorio e per comprendere le dinamiche ambientali delle aree, infatti, in caso di reati, a prescindere dalla tipologia, è necessario conoscere ad esempio i rilievi delle aree di studio (carte topografiche) oppure la morfologia del terreno per individuare eventuali vie di fuga o la presenza di cavità per l'occultamento o l'abbandono di rifiuti (carte geomorfologiche), conoscere il tipo di suolo e le sue caratteristiche per comprenderne la scavabilità o individuare luoghi per il confronto tra tracce (carta pedologica), l'idrografia per comprendere la disposizione delle acque superficiali e costiere (carta idrografica) e molte altre a disposizione del tecnico.

4.3.2. Rilevamento da remoto

Nei casi di reati contro l'ambiente è frequente che l'area di studio sia molto ampia e spesso impervia, il rilevamento da remoto permette di ovviare a questo problema; è importante sottolineare che il rilevamento da remoto non sostituisce il rilievo sul campo ma per le sue particolari caratteristiche permette di individuare aree ristrette in cui concentrare il rilevamento in sito ed approfondimenti.

Le foto aeree sono un importante metodo di analisi per il geologo forense non solo perchè permettono di indagare una porzione molto più ampia di territorio anche in caso di asperità, ma anche per la grande disponibilità di immagini da un punto di vista temporale che permette di osservare il cambiamento di un'area (multi-temporalità) scoprendo eventuali illeciti soprattutto in caso di discariche abusive oppure in caso di volumi eccedenti per le coltivazioni di cave/miniere. È possibile anche operare secondo il metodo multi scalare che utilizza immagini aeree riprese a scale differenti ottenendo un fattore di zoom [3].

Per la realizzazione di mappe tematiche e l'ottenimento di informazioni territoriali è possibile avvalersi di voli aerei, effettuati anche con veicoli a controllo remoto, con sensori multispettrali ovvero in grado di registrare la radiazione naturale rilasciata o riflessa da un *target*, o le aree circostanti, attraverso lo spettro elettromagnetico (banda visibile, infrarossi e termiche) che restituiscono un'immagine multibanda.

A questo tipo di studio possono essere associate una o più acquisizioni GPS con lo scopo di georeferenziare i dati acquisiti e la conseguente possibilità di creare Modelli Digitali del Terreno (DTM – *Digital Terrain Model*) [4].

4.3.3. Rilevamento in sito ed analisi di laboratorio

Tutte le osservazioni effettuate da remoto devono sempre essere verificate con un sopralluogo in sito; questa attività sarà necessaria anche per l'approfondimento della conoscenza del territorio e di eventuali aree da attenzionare precedentemente individuate con l'analisi da remoto.

Nel caso dei reati ambientali possono essere utilizzate tecniche geofisiche per individuare rifiuti interrati, aree di discarica o zone di contaminazione sotterranee, ad esempio, percolati o sversamenti di sostanze pericolose [3]; questo tipo di tecniche sono non invasive ma anche molto sensibili alle condizioni ambientali, dal tipo di strumento utilizzato e dalle caratteristiche del *target* che deve produrre un'alterazione delle condizioni fisico-chimiche misurabili. Tra queste tecniche si individuano la **tomografia elettrica** (ERT) per bersagli con differente resistività al passaggio di corrente, ad esempio cavità nei casi di sepolture ed interramenti, oppure per la ricerca di sostanze inquinanti come i percolati (buoni conduttori) ed i derivati del petrolio (cattivi conduttori); la **magnetometria** utilizzata nella ricerca di fusti interrati nei casi di illeciti nello smaltimento di rifiuti e per altri crimini nella ricerca di armi. Il **georadar** è una tecnica molto importante in quanto può individuare non solo bersagli metallici ma anche di altre composizioni (plastica, legno...) ed è in grado di fornire informazioni riguardanti la forma dell'oggetto sepolto [3]. Il vantaggio dei metodi magnetico ed elettrico è la maggior profondità di indagine ed il fatto che il *georadar* è molto sensibile alle condizioni ambientali, in quanto disturbato da terreni conduttivi ed acquiferi superficiali. Il sopralluogo in sito può essere utilizzato anche per la raccolta di campioni, qualsiasi sia la tipologia di reato e di matrice ambientale indagata devono essere seguite le procedure stabilite dalle norme UNI EN per tutte le operazioni [4] dalla scelta dell'area da campionare, al tipo di campionamento ed il trasporto al laboratorio accreditato di riferimento. Nelle indagini per inquinamento ambientale, durante le analisi di laboratorio, si predilige la ricerca di analiti quali metalli pesanti, idrocarburi, COV ecc...

Per il campionamento e l'analisi nel caso di inquinamento della falda è sempre utile conoscere la tipologia e la mobilità della falda in funzione della diffusione dell'inquinante.

La forza di tutte queste tecniche è che le informazioni raccolte possono essere implementate mediante un sistema informativo territoriale o GIS (*Geographic Information System*) il quale,

potendo collegare informazioni provenienti da fonti diverse consente la realizzazione di modelli ed aumenta la disponibilità di dati utilizzabili dai tecnici.

5. Conclusioni

La crescente sensibilità nei confronti della protezione dell'ambiente e l'aumento della consapevolezza dell'importanza della prevenzione negli ultimi decenni hanno portato anche ad una rapida evoluzione normativa nei confronti dei reati contro l'ambiente tra i quali ricordiamo l'inquinamento ambientale (452 bis C.p.) e l'incendio boschivo (423 bis C.p.). Una svolta significativa nella persecuzione di questo tipo reati è rappresentata dalla legge 22 maggio 2015 n. 68 che, inserendo i reati ambientali nel Codice penale, ha permesso il coinvolgimento di tecnici esperti nelle indagini di polizia giudiziaria e nell'*iter* processuale. L'efficacia di questa legge non è stata solo da un punto di vista repressivo misurabile mediante gli esiti processuali ma anche preventivo per la capacità deterrente [3].

In questo contesto normativo la figura del geologo forense ha acquisito un'importanza sempre crescente; in caso di coinvolgimento da parte dell'Autorità Giudiziaria il suo compito non è quello di una caratterizzazione canonica del sito potenzialmente inquinato ma quello di definire la criticità dello stesso in relazione alla pericolosità per l'ambiente e la popolazione, localizzare e mappare l'area potenzialmente contaminata e la sua fonte, definire gli inquinanti presenti e caratterizzarli speditivamente. Per svolgere il suo compito il geologo forense può utilizzare tutte le tecniche disponibili applicabili alle scienze della Terra ed una combinazione tra loro nel rispetto delle procedure stabilite dalla normativa di riferimento.

6. Bibliografia/Sitografia

- 1) Forensic geoscience and crime detection - Identification, interpretation and presentation in forensic geoscience. R.M. Morgan & P. A. Bull 2007
- 2) Geologia forense – introduzione alle geoscienze applicate alle indagini giudiziarie. R. M. Di Maggio, P. M. Barone et alii 2013
- 3) Geologia Forense e illeciti ambientali. Focus sulla legge n. 68 del 22 maggio 2015. R. M. Di Maggio 2021
- 4) Geoscientists at crime scenes. A Companion to Forensic Geoscience. R. M. Di Maggio, P. M. Barone – Springer International Publishing AG 2017
- 5) Legge 22 maggio 2015, n. 68 Disposizioni in materia di delitti contro l'ambiente (G.U. 28 maggio 2015, n. 122)
- 6) D.M. 25 ottobre 1999, n. 471. Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi
- 7) Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 Norme in materia ambientale (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006)
- 8) <http://raccoltanormativa.consiglio.regione.toscana.it/>
- 9) <https://www.senato.it/istituzione/la-costituzione>
- 10) <https://www.gazzettaufficiale.it/>