



DICATAM
Università degli Studi
di Brescia



DICAR
Università degli Studi
di Catania



DICEA
Sapienza, Università
di Roma

SiCon 2022

***Workshop su: Siti Contaminati. Esperienze negli
interventi di risanamento***

9-11 Febbraio 2022

Messa in sicurezza del sito contaminato
K20 mediante un capping attivo
multistrato e multifunzione in geosintetici

Ing. Alberto Simini
HUESKER Srl
Piazza della Libertà 3, 34132 Trieste, Italy
a.simini@HUESKER.it

Dr.-Ing. Stefan Niewerth
HUESKER Synthetic GmbH
Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher, Germany
niewerth@HUESKER.de

MESSA IN SICUREZZA DEL SITO CONTAMINATO K20 MEDIANTE UN CAPPING ATTIVO MULTISTRATO E MULTIFUNZIONE IN GEOSINTETICI

Alberto Simini

*HUESKER Srl, Piazza della Libertà 3, 34132 Trieste, Italy,
a.simini@HUESKER.it*

Stefan Niewerth

*HUESKER Synthetic GmbH, Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher, Germany,
niewerth@HUESKER.de*

Sommario. Il sito contaminato K20, situato nella valle Gurktal in Austria, è una discarica dismessa di rifiuti industriali nella quale sono stati conferiti per più di 50 anni diversi rifiuti pericolosi tra cui idrocarburi clorurati (tetracloroetilene, tricloroetilene, esaclorobutadiene, esacloroetano ed esaclorobenzene), carburo di calcio e mercurio. Un primo tentativo di bonifica mediante la rimozione completa di tutti i rifiuti e successivo trattamento termico è stato immediatamente interrotto a seguito del rilevamento di esaclorobenzene, sia nell'ambiente sia in cibi prodotti localmente. La soluzione che si è quindi adottata, in accordo con tutte le autorità competenti, è stata quella di una messa in sicurezza del sito mediante un capping attivo multistrato e multifunzione in geosintetici. Grazie all'utilizzo di geocompositi attivi, geocompositi bentonitici, membrane impermeabili, geocompositi drenanti e geogriglie di rinforzo è stato possibile garantire un risultato efficace e di lunga durata. Il presente articolo intende descrivere le soluzioni tecniche adottate sia in fase progettuale che esecutiva, soprattutto per quanto riguarda l'adsorbimento dei contaminanti in fase gassosa.

1. INTRODUZIONE

L'industria chimica, con i suoi prodotti, offre una base indispensabile per molti altri settori, come l'industria automobilistica, alimentare, della plastica, farmaceutica, dei materiali da costruzione e l'agricoltura ed è pertanto un componente chiave del mondo moderno. Lo sviluppo dell'industria chimica ha anche portato a progressi nell'ingegneria di processo, che hanno aumentato

Messa in sicurezza del sito contaminato K20 mediante un capping attivo multistrato e multifunzione in geosintetici

significativamente l'efficienza e la compatibilità ambientale della produzione. Non è sempre stato così; un tempo, per esempio, era pratica comune scaricare i materiali di scarto inutilizzabili e i sottoprodotti della produzione nelle discariche di proprietà dell'azienda stessa. Con l'incremento della sensibilità verso le tematiche ambientali, l'attenzione pubblica si è rivolta anche verso questi siti, dando così il via ad interventi di bonifica su larga scala.

La bonifica dei siti industriali contaminati richiede indagini preliminari dettagliate. Oltre alle indagini sul suolo, è necessario indagare sulla natura dei materiali depositati, sul potenziale rischio di inquinamento, sul volume e lo spessore del corpo della discarica e anche valutare i possibili successivi utilizzi dell'area. Queste indagini sono spesso ostacolate dall'incompleta documentazione sui vecchi depositi inquinati, a causa della mancanza di normative all'epoca della loro costruzione. La legge tedesca sullo smaltimento dei rifiuti (Abfallbeseitigungsgesetz) è entrata in vigore nel 1972 mentre in Austria, la prima legge sui rifiuti pericolosi (Sonderabfallgesetz) è stata approvata nel 1983. Le indagini preliminari possono poi servire come base per lo sviluppo di un progetto di bonifica o di messa in sicurezza che soddisfi i requisiti imposti per il sito contaminato. I risultati delle indagini possono anche portare alla scelta di progetti di bonifica molto diversi l'uno dall'altro per siti adiacenti. La discarica di Kesslergrube a Grenzach-Wyhlen in Germania è un caso esemplare; mentre la BASF ha optato per la realizzazione di un capping incapsulando i materiali contaminati di loro competenza, Hoffmann-La Roche ha optato per delle operazioni di scavo e trattamento termico del terreno contaminato [GAU][HÜR].

2. STORIA DEL PROGETTO DI BONIFICA DEL SITO CONTAMINATO K20

Il sito contaminato K20, un'ex discarica di un'industria chimica, si trova circa un chilometro a sud della città austriaca di Brückl nella parte inferiore della valle Gurktal. È diviso in due zone e tra il 1926 e il 1981, è stato utilizzato per lo smaltimento di idrocarburi clorurati (CHC), carburo di calcio e rifiuti inquinati da mercurio [KÄR]. I CHC depositati comprendono principalmente tetracloroetilene, tricloroetilene, esaclorobutadiene, esacloroetano ed esaclorobenzene. La quantità totale di CHC è stata stimata in circa 100 - 1.000 tonnellate [UBA]. Una foto aerea del sito K20 è mostrata nella figura 1.

A partire dal 1995 sono stati eseguiti vari interventi di bonifica e una serie di indagini molto approfondite per l'analisi dello status quo [GWU]. A seguito di una valutazione del rischio condotta dall'Agenzia Ambientale Austriaca (Umweltbundesamt) nel 2000, l'ex discarica è stata inserita come sito contaminato K20 nella mappa austriaca dei siti contaminati. Nel 2003, a seguito di ulteriori indagini, il sito K20 è stato classificato come sito di priorità 1 [KÄR].

Messa in sicurezza del sito contaminato K20 mediante un capping attivo multistrato e multifunzione in geosintetici



Figura 1. Sito contaminato K20; la zona I, sopra la maggior parte della quale è stata installata una copertura, si trova nella parte anteriore mentre la zona II si trova nella parte posteriore (Marzo 2017).

Nel dicembre 2009, il governatore dello stato federale austriaco della Carinzia ha deliberato la bonifica del sito K20 attraverso la rimozione completa di tutti i materiali della discarica. A seconda del loro contenuto inquinante, questi dovevano essere riciclati, trattati o smaltiti. Nel 2012, una volta completate le operazioni preliminari, sono iniziati i lavori di bonifica e sono state rimosse circa 150.000 t di materiale contaminato.

Nel novembre 2014, quando è stata rilevata la presenza di esaclorobenzene nei pressi del cementificio incaricato di trattare termicamente i fanghi contaminati e in alimenti prodotti localmente, la bonifica del sito contaminato è stata interrotta.

È stata in seguito indetta una nuova gara d'appalto europea per il trasporto e il trattamento dei fanghi di calce inquinati e delle altre sostanze contaminanti. Da una analisi dei progetti presentati è però emerso che “nessun progetto che preveda il proseguimento della bonifica del sito potrebbe offrire certezza giuridica, tecnica, di tempo o di costi” [KÄR].

3. MESSA IN SICUREZZA MEDIANTE CAPPING

Il contenimento della contaminazione era già stato considerato come opzione per il risanamento del sito nella prima analisi eseguita dai progettisti del GUT (Gruppe Umwelt + Technik GmbH) nel 2008. Lo svantaggio di questa procedura è che necessita di un continuo monitoraggio e manutenzione del sistema di capping e che la potenziale fonte di inquinamento viene lasciata in sito. Tra le varie alternative considerate, questa è certamente quella migliore dopo l'opzione scelta inizialmente che prevedeva riciclaggio e smaltimento. Tuttavia, gli sviluppi prima descritti hanno reso necessario riconsiderare l'opzione di contenimento per il sito contaminato. Una successiva valutazione delle opzioni disponibili da parte del GUT, nel 2016 ha aperto la strada a una soluzione innovativa per quanto riguarda il progetto del capping multistrato.

Oltre alle soluzioni da implementare al di sotto del livello della falda acquifera (cinturazione della discarica e abbassamento della falda mediante pompaggio in continuo), il progetto prevedeva quindi la realizzazione di un capping innovativo multistrato e multifunzionale costituito da un geocomposito bentonitico con all'interno 11 kg/m² di bentonite calcica, una membrana LDPE con incorporato uno strato di alluminio impermeabile ai CHC, un geocomposito drenante e un geocomposito attivo con all'interno 2 kg/m² di carboni attivi. Questo sistema costituisce una barriera perfettamente impermeabile nei confronti delle emissioni gassose di CHC. Il geocomposito attivo è stato posato al di sotto della membrana per ridurre le concentrazioni di CHC che sarebbero andate a gravare sulla membrana e rallentare così il gradiente di diffusione. Il geocomposito attivo Tektoseal Active AC permette l'utilizzo del carbone attivo (un materiale adsorbente ad alte prestazioni già ampiamente utilizzato con successo da lungo tempo) in nuovi campi di applicazione. I due geotessili di contenimento del Tektoseal Active garantiscono la stabilità meccanica dello strato attivo, il che permette una posa semplice e rapida del materiale in tutte le condizioni. Lo strato attivo viene anche perfettamente protetto da qualsiasi fenomeno erosivo causato da acqua, vento o pendenza del piano di posa.

Il capping comprende anche una serie di tubi di aspirazione posati su due livelli, sopra e sotto l'impermeabilizzazione. L'aria presente nel terreno viene così aspirata in continuo dallo strato di estrazione inferiore e condotta ad un sistema di depurazione. Lo strato di estrazione superiore serve invece come monitoraggio di eventuali sostanze contaminate che dovessero attraversare gli strati impermeabilizzanti. In figura 2 è illustrata la posa dei principali componenti del capping. La realizzazione del capping è iniziata nel novembre 2016.

Messa in sicurezza del sito contaminato K20 mediante un capping attivo multistrato e multifunzione in geosintetici



Figura 2. Posa del capping. Il geocomposito bentonitico NaBento RL-C con 11 kg/m² di bentonite calcica (nero) è visibile in primo piano. Dietro è visibile il geocomposito attivo Tektoseal Active AC con 2 kg/m² di carboni attivi (bianco). Nella foto si può vedere anche la membrana LDPE (grigia) con incorporato uno strato di alluminio impermeabile ai CHC.

4. ANALISI DELLA STABILITÀ STRUTTURALE

A causa del suo utilizzo per molti decenni, il sito K20 ha una topografia altamente irregolare. Mentre in molte parti sono presenti inclinazioni tipiche delle discariche (tra 1:3 e 1:2), alcune aree sono caratterizzate da inclinazioni fino a 70°. Ciò ha reso necessari notevoli lavori di movimentazione dei rifiuti contaminati per ridurre le pendenze. Mentre inclinazioni di 1:3 possono normalmente essere realizzate in sicurezza senza rischio di scivolamento del capping grazie all'utilizzo di idonei geosintetici, pendenze più ripide fino a 1:2 o 1:1,5 richiedono l'adozione di soluzioni aggiuntive per la stabilizzazione del pendio.

Il rischio che si instauri uno scivolamento in direzione parallela al pendio si presenta sempre quando l'angolo di attrito lungo un potenziale piano di scivolamento (ad esempio tra il geotessile nontessuto di protezione e la membrana liscia) è simile o inferiore all'inclinazione del pendio stesso. In queste

Messa in sicurezza del sito contaminato K20 mediante un capping attivo multistrato e multifunzione in geosintetici

situazioni, tenendo anche conto di tutti i fattori di riduzione imposti dalla normativa, la stabilità del sistema viene superata e il sistema diventa instabile. Le forze che provocano tale instabilità possono essere determinate considerando la differenza tra l'angolo di attrito minimo e la pendenza del pendio, la lunghezza del pendio stesso, lo spessore del terreno al di sopra della superficie di scivolamento e il peso specifico del terreno. Un elemento capace di assorbire tali forze di trazione instabilizzanti è tipicamente una geogriglia, che viene usata per trasferire le forze alla sommità del pendio e da lì ad una trincea di ancoraggio (Figura 3).

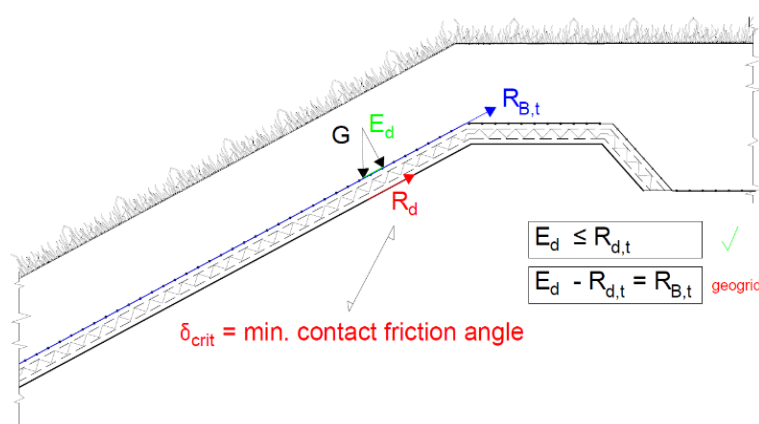


Figura 3. Sistema strutturale relativo al meccanismo di scivolamento in direzione parallela al pendio.

Il sistema rimane stabile finché la forza agente E_d è minore della forza stabilizzante R_d . Se le azioni superano le forze di attrito che si sviluppano lungo il piano di scivolamento, la differenza R_B può essere assorbita e trasferita da una geogriglia.

Nel sito K20 le verifiche allo scivolamento sono state eseguite considerando il pendio di massima pendenza (1:2) e la sua lunghezza massima (circa 45 m).

La sezione del capping è illustrata nella Figura 4. Come si può vedere, ci sono complessivamente nove potenziali piani di slittamento (Tabella 1), per alcuni dei quali erano disponibili i risultati delle prove di taglio o sono state eseguite prove di taglio specifiche per il progetto. In favore di sicurezza, i calcoli sono stati effettuati considerando solo gli angoli di attrito, in accordo con le raccomandazioni GDA E2-7 emesse dal gruppo di lavoro GDA (German Geotechnics of Landfills and Contaminated Sites), mentre la coesione (c) e l'adesione (a) sono stati trascurati.

Messa in sicurezza del sito contaminato K20 mediante un capping attivo multistrato e multifunzione in geosintetici

Tabella 1. Potenziali superfici di scivolamento.

Tra geocomposito drenante e terreno di copertura
Geocomposito drenante - resistenza al taglio interno
Tra geocomposito drenante e ghiaia drenante 16/32
Tra ghiaia drenante 16/32 e nontessuto di protezione da 1.200 g/m ²
Tra nontessuto di protezione da 1.200 g/m ² e membrana impermeabile
Tra membrana impermeabile in LDPE e Tektoseal Active AC
Tra Tektoseal Active AC e NaBento RL-C
NaBento RL-C - resistenza al taglio interno
Tra NaBento RL-C e terreno

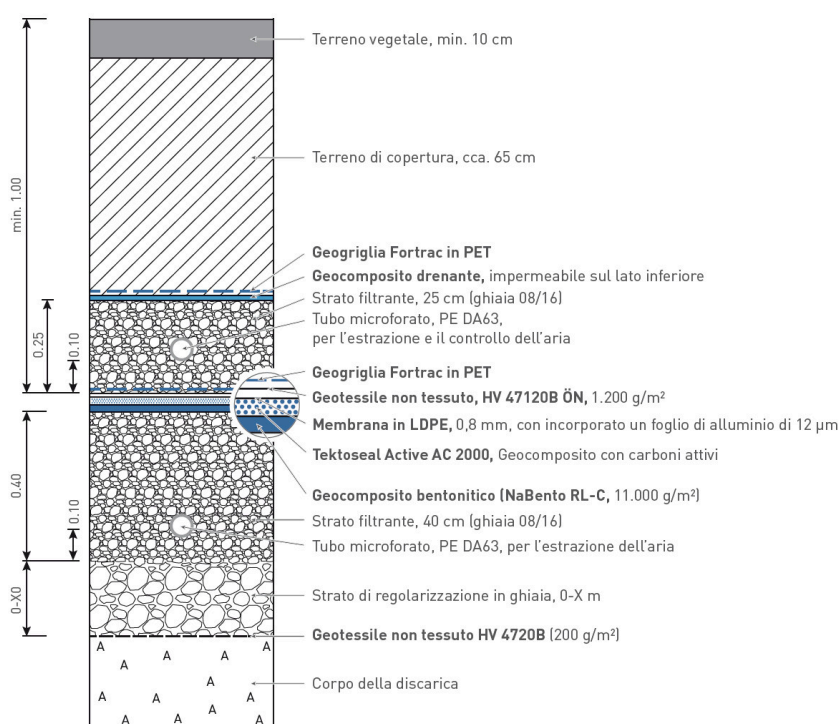


Figura 4. Sezione tipologica del capping.

Per la maggior parte delle superfici di scivolamento, i valori degli angoli di attrito derivati dai risultati delle prove di laboratorio variavano da $\delta=24^\circ$ a $\delta=37,2^\circ$. Sono state individuate due potenziali superfici di scivolamento

Messa in sicurezza del sito contaminato K20 mediante un capping attivo multistrato e multifunzione in geosintetici

indipendenti tra loro al di sotto e al di sopra dello strato di drenaggio in ghiaia. La superficie critica di scorrimento al di sopra dello strato di ghiaia drenante è quella interna al geocomposito drenante ($\delta=23^\circ$) mentre la superficie critica di scorrimento al di sotto dello strato di ghiaia drenante è stata individuata tra il geotessile nontessuto di protezione e la membrana LDPE ($\delta=10,5^\circ$). A causa della loro distanza verticale, le due superfici hanno richiesto una valutazione separata e una specifica scelta della geogriglia di rinforzo.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite secondo l'Eurocodice 7, utilizzando i fattori di sicurezza parziali indicati nella versione austriaca ÖN 1997-1. La metodologia di calcolo utilizzata è basata sulla sezione 8 dell'EBGEO ("Raccomandazioni per la progettazione e l'analisi delle strutture in terra utilizzando rinforzi geosintetici", pubblicato dalla Società Geotecnica Tedesca, 2010) e le raccomandazioni del gruppo di lavoro E2-7 della GDA (Geotecnica delle discariche e siti contaminati in Germania).

Per le geogriglie sono state calcolate resistenze minime di 200 kN/m (Fortrac 200 T) per lo strato superiore e di 600 kN/m (Fortrac 600 T) per lo strato inferiore.

Dal momento che l'uso di trincee di ancoraggio non era tecnicamente fattibile a causa dell'impossibilità di effettuare operazioni di scavo nella discarica, l'unico modo possibile era quello di adottare degli ancoraggi pianeggianti. I bassi valori degli angoli di attrito (in particolare il valore di $\delta=10,5^\circ$ tra il geotessile nontessuto e la membrana) richiedevano lunghezze di ancoraggio molto significative, fino a 66 m considerando lo spessore di 1 m del terreno di copertura. In alcuni punti però lo spazio disponibile era limitato a 25-32 m e quindi, a causa di questi vincoli geometrici, la soluzione adottata è stata quella di posare un'unica geogriglia continua che si estendeva sui pendii opposti, a forma di sella in modo che gli ancoraggi sui pendii opposti avessero quindi un effetto di controbilanciamento. Tuttavia, per evitare l'instaurarsi di azioni non bilanciate, questa soluzione ha richiesto la posa simultanea e parallela del terreno sui pendii opposti. È stato quindi necessario studiare specifici schemi di posa per garantire la stabilità anche in fase costruttiva (vedi figura 5).

*Messa in sicurezza del sito contaminato K20 mediante un capping attivo multistrato e
multifunzione in geosintetici*

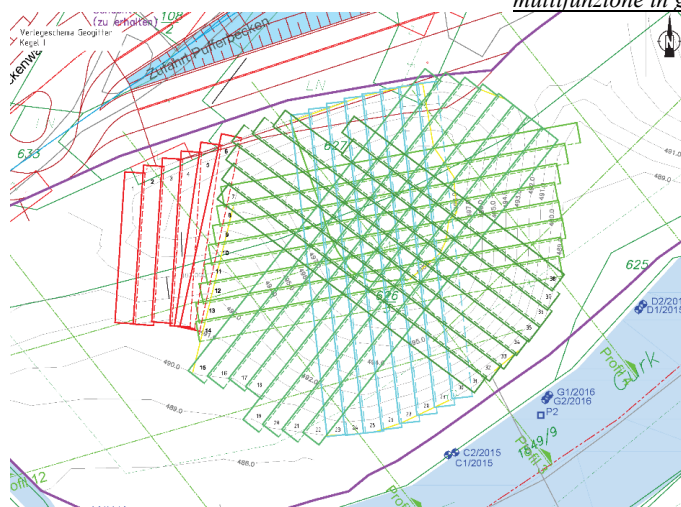


Figura 5. Schema di posa della geogriglia di rinforzo inferiore (Fortrac 600 T).



Figura 6. Vista aerea della discarica (Maggio 2017).

5. CONCLUSIONI

Dal momento che non esiste una soluzione universale ai problemi posti dai siti contaminati, i progettisti necessitano di un ventaglio di soluzioni tra cui selezionare le misure più adatte. Il capping attivo multistrato e multifunzionale in geosintetici descritto in questo articolo rappresenta una nuova possibilità. Le specifiche necessità di ogni singolo sito possono essere facilmente soddisfatte scegliendo opportunamente i materiali che costituiscono il capping. Ad esempio, nel progetto descritto nell'articolo sono state utilizzate geogriglie di rinforzo per garantire stabilità al capping nonostante i vincoli geometrici esistenti. Da un punto di vista ecologico e ambientale, per il sito contaminato K20 non c'è attualmente alcuna alternativa alla soluzione di capping illustrata in quanto ha eliminato la necessità di migliaia di trasporti di sostanze contaminate ed evita qualsiasi rischio di contaminazione durante le fasi di carico, scarico e trasporti. Il capping realizzato proteggerà la discarica sia dall'ingresso di precipitazioni che dall'azione del vento. La costruzione è iniziata nell'inverno 2016 ed è stata completata nell'inverno 2018.

BIBLIOGRAFIA

- [KÄR] Austrian Federal State of Carinthia: *Notice, K20 "Brückl I/II lime landfill" contaminated site/containment project of 04.07.2016/ review under § 17 Act on the Remediation of Contaminated Sites (Altlastensanierungsgesetz)*, 2016
- [UBA] Environment Agency Austria (Umweltbundesamt), *K20 "Brückl I/II lime landfill" contaminated site*, 2003
- [GWU] Dr. Hartwig Kraiger, Geologie-Wasser-Umwelt (GWU), *K20 "Brückl I/II lime landfill" contaminated site – containment of contamination, cover lining works, phases 0 and IA, concept phases IB and II*, 2016
- [HÜR] Dr. Richard Hürzler, F. Hoffmann-La Roche AG, *Landfill remediation by removal as exemplified by Zones 1/3-NW of Kesslergrube landfill in Grenzach-Wyhlen, Germany*, 2017 ITVA (Engineering Association for Contamination Management and Land Recycling) Contaminated Site Symposium
- [GAU] Uwe Gauglitz, BASF, *Remediation of Zone 2 of Kesslergrube landfill in Grenzach-Wyhlen, Germany – more than just a technical challenge*, 2017 ITVA Contaminated Site Symposium
- Kristof Thimm, Ian Weir; *Containment of K20 contaminated site through a multifunctional active cover lining*, Ecoforum 2019, Auckland, New Zealand