

A.Di.S.

Associazione Nazionale Difesa del Suolo

Giornata di Studio “I sistemi drenanti nei dissesti del territorio”
Grugliasco (TO) – 7 aprile '06

Sistemi di monitoraggio integrati: valutazione in real-time dell'effetto dei drenaggi sulla stabilità dei versanti

Ing. Giorgio Scioldo - GeoSoft - Torino

Ing. Andrea Segalini - Dipartimento Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio ed Architettura
- Università di Parma

Riassunto

Questo contributo presenta il GeoGprs, un sistema di acquisizione dati basato su internet che comprende procedure di gestione avanzata delle condizioni di allarme e strumenti di calcolo automatizzati; questo sistema permette sia il controllo remoto da Web di tutte le apparecchiature installate sia la valutazione in tempo reale dei dati ottenuti.

Il sistema è stato scelto dai responsabili del servizio di controllo della Discarica RSU “Piani di Tiedoli” per il monitoraggio del sito, in particolare per l'acquisizione di dati meteorologici, piezometrici e inclinometrici. Nel presente lavoro si descrive l'implementazione di una procedura volta alla valutazione automatica dell'influenza delle variazioni del livello piezometrico sullo stato deformativo del versante e del corpo della discarica.

Introduzione

La discarica “Piani di Tiedoli” costituisce un tipico esempio di come, talvolta, oggettive esigenze logistiche portino alla realizzazione di interventi antropici che, sul lungo periodo, possono interagire in modo problematico con l'ambiente circostante.

In questi casi, tutt'altro che infrequenti, è indispensabile realizzare sistemi di controllo che permettano un adeguato monitoraggio della situazione, integrandoli con interventi strutturali volti alla salvaguardia ambientale del sito.

In questo lavoro, dopo aver sinteticamente illustrato la storia della discarica, presenteremo il sistema da noi realizzato il quale, attraverso l'integrazione della strumentazione di monitoraggio in un sistema web-based comprendente procedure di gestione avanzata delle condizioni di allarme e strumenti di calcolo di stabilità automatizzati, permette sia il controllo remoto di tutte le apparecchiature installate sia la valutazione in tempo reale dell'influenza delle variazioni del livello piezometrico sulla stabilità del fronte.

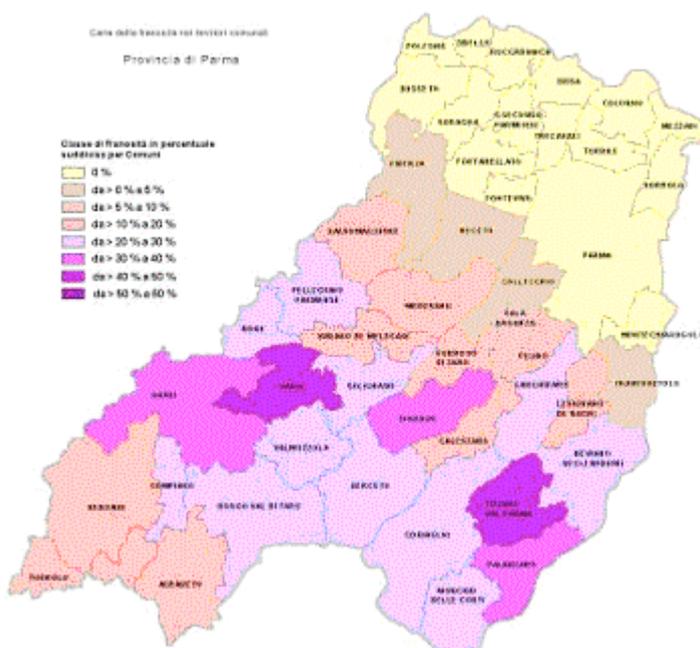
Inquadramento del sito

La discarica è ubicata in località “I Piani” nel comune di Borgotaro ed è stata realizzata in una zona di affioramento di terreni argillosi caotici, provenienti dal disfacimento dei complessi marnoso - arenacei presenti sul contorno di monte.



Veduta aerea dell'area interessata dalla discarica

La discarica è sorta in una zona oggi sottoposta a vincolo idrogeologico, che insiste su un terreno classificato come frana quiescente e, quindi, vincolato alle norme attuative del PTCP, entrate in vigore successivamente alla realizzazione della discarica stessa, che recitano (art. 22): “Nelle aree ricadenti all’interno dei movimenti gravitativi quiescenti ... sono comunque escluse la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti, l’ampliamento degli stessi impianti esistenti, l’esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti...”.



Cartina della Classe di Franosità Provinciale

L'amministrazione si è quindi trovata in una situazione alquanto delicata nella quale, a fronte dell'impossibilità di ulteriore sfruttamento economico del sito, è stato necessario implementare una serie di soluzioni tecnologiche volte a garantire la minimizzazione dell'impatto dell'opera sull'ambiente circostante.

Realizzazione dell'impianto

L'impianto è stato attivato nel marzo 1991. E' stato autorizzato come discarica di prima categoria per rifiuti urbani e assimilabili, con una potenzialità complessiva di 543.200 metri cubi suddivisi in 5 vasche a gradoni.

La discarica è stata costruita asportando completamente la copertura detritica presente al di sopra della formazione rocciosa che, in queste zone, si trova in condizioni di reggipoggio, ottimali per la sua stabilità intrinseca.



Lavori di realizzazione della discarica

Per impermeabilizzare l'area interessata ed impedire al percolato di inquinare terreno e falda sottostante le vasche sono state ricoperte con una geomembrana in polietilene ad alta densità (HDPE) dallo spessore di 2 mm, posta su di uno strato di 50 cm di argilla compattata e su di un telo geocomposito bentonitico.

Il controllo della fuoriuscita del percolato e dei liquami ed il loro incanalamento verso il riciclo sui rifiuti od al depuratore è stato affidato a pozzi di sottotelo; la parte di discarica ultimata, infine, è stata ricoperta con una geomembrana sulla quale è stato sistemato terreno vegetale di buona qualità e di spessore sufficiente da permettere la semina.

Il controllo dell'eventuale inquinamento delle falde sottostanti avviene mediante sei pozzi piezometrici, dai quali viene trimestralmente prelevata ed analizzata l'acqua. Altre valutazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche del percolato vengono eseguite con cadenza semestrale.



Veduta della discarica – messa in opera dei teli



Veduta della discarica – copertura ultimata

Analisi delle problematiche e interventi di messa in sicurezza

Nonostante le opere previste, nel corso di eventi meteorologici di particolare intensità si sono verificate alcune fuoriuscite di percolato in superficie. Questa situazione genera un certo allarme, per cui gli amministratori si rivolgono all'Arpa ed all'Università di Parma per una analisi approfondita della situazione.

In seguito agli studi effettuati da questi Enti vengono svolti diversi lavori di miglioramento quali il rifacimento dell'impianto elettrico, gli interventi sullo scolo delle acque per le prime quattro vasche,

la messa in sicurezza del versante, la recinzione dell'impianto, il ripristino delle pompe di aspirazione del percolato e delle pompe di sottotelo e l'impianto di depurazione del percolato in loco.

Si realizza inoltre un sito Internet tramite il quale i gestori dell'impianto ed i responsabili del monitoraggio possono accedere in tempo reale a tutti i dati dell'impianto.



Localizzazione delle stazioni di monitoraggio

Contestualmente viene costituito uno staff di capiservizio e di squadre di reperibilità; in caso di necessità è prevista la possibile di attivare l'invio di allarmi via SMS o e-mail per garantire l'immediato intervento del personale.

Dal punto di vista più strettamente geotecnico gli esperti dell'Università hanno potuto rassicurare l'Amministrazione sul fatto che, dal punto di vista della stabilità, i limitati fenomeni collegati ad eventi meteorologici anche intensi non destano preoccupazioni. Sono stati infatti messi in opera tubi inclinometrici per monitorare lo stato deformativo del versante e del corpo della discarica, e fino ad ora sono stati rilevati piccoli spostamenti in alcune zone, mentre in altre non sembrano esserci stati movimenti di nessun tipo. La situazione globale quindi non desta preoccupazioni. Per quanto riguarda le procedure future da attuare alla discarica, viene indicata la necessità di svolgere per i prossimi decenni una manutenzione ordinaria orientata prioritariamente al controllo del biogas e del percolato.

È stata infine prevista la protezione della discarica con reti paramassi, per garantire la sicurezza degli addetti ed evitare che eventuali cadute di blocchi di roccia possano accidentalmente danneggiare i teli di copertura delle vasche.

I problemi da risolvere

Come accennato in precedenza i problemi da affrontare per una corretta gestione della discarica di Piani di Tiedoli sono molteplici e richiedono soluzioni variegata, non facilmente affrontabili con i tradizionali sistemi standardizzati; occorre anche considerare il fatto che la sorveglianza del sito dovrà protrarsi per alcuni decenni, e quindi un sistema quanto più automatizzato possibile risulta auspicabile per il contenimento dei costi di gestione a lungo termine.

Il rischio che il percolato possa contaminare la falda sottostante è stato mitigato tramite la messa in opera dei teli di copertura che consentono una drastica riduzione delle infiltrazioni di acque meteoriche.

La discarica è inoltre dotata di un impianto di spurgo automatizzato e di un impianto di trattamento del percolato in loco. Tale impianto deve però essere costantemente monitorato, se non altro per organizzare in modo ottimale la logistica del trasporto del materiale risultante dall'impianto di trattamento nelle opportune sedi di smaltimento.

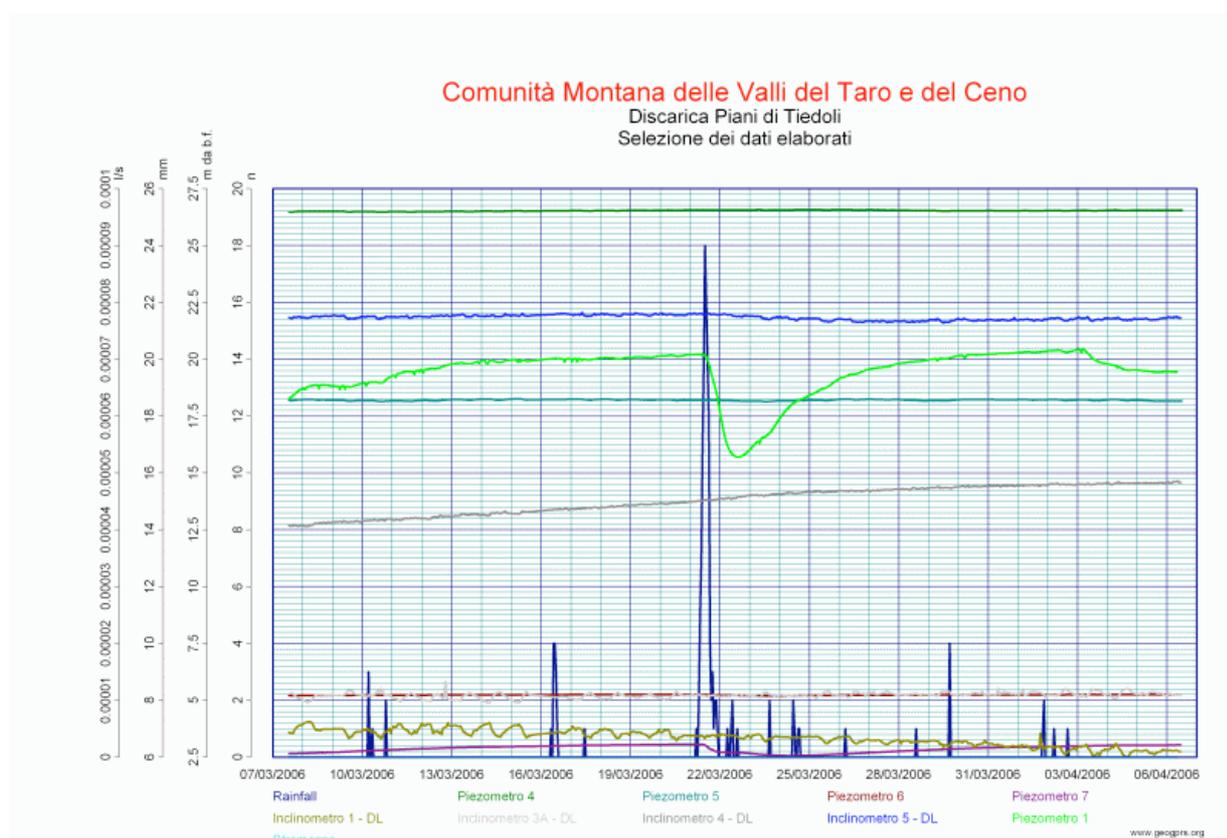


Tavola sinottica generata automaticamente ad ogni ciclo di lettura, consultabile via Web

Il problema della sorveglianza del sito dal punto di vista della stabilità del versante è notevolmente più articolato, da un lato orientandosi all'analisi del comportamento nel tempo dei movimenti di assestamento naturale del versante, per poter rispondere con efficienza e rapidità ad eventuali improvvise accelerazioni dello stato deformativo che potrebbero risultare prodromiche ad un collasso dell'area in esame, dall'altro valutando l'influenza delle oscillazioni della falda freatica sulle deformazioni misurate.

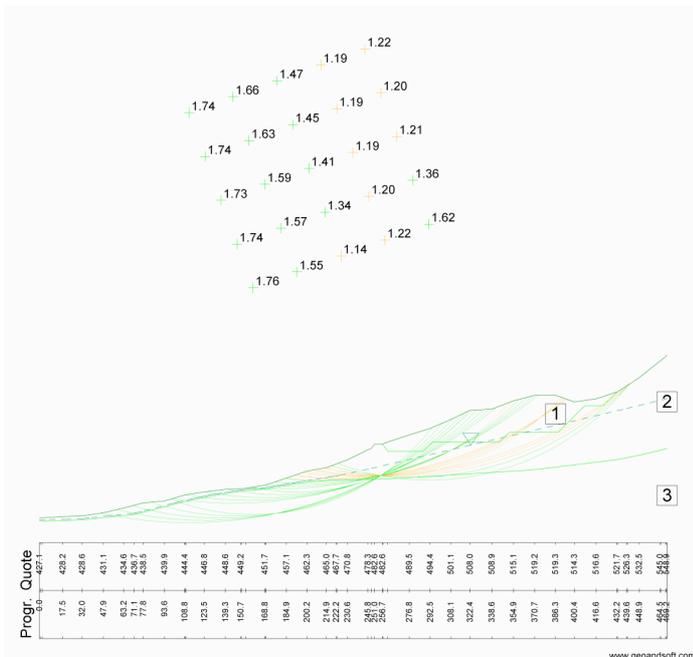
Col tempo le informazioni meteorologiche, geotecniche ed idrogeologiche, acquisite in dettaglio e con regolarità, arrivano a dare un quadro completo e preciso della realtà del sito. L'analisi e la

valutazione dei dati acquisiti richiede supervisor di grande competenza, ed il bagaglio di conoscenze acquisite può consentire agli esperti di pianificare procedure di calcolo per la previsione di situazioni anomale potenzialmente pericolose.

Il passo successivo è quindi quello di implementare un sistema che, al di là delle analisi degli operatori umani, scadenzate necessariamente su intervalli di tempo ampi, sia in grado di effettuare valutazioni in modo automatico ed in *real-time* volte ad identificare fenomeni incipienti e a dare così maggiori possibilità di successo agli interventi di ripristino delle condizioni di sicurezza.

Il drenaggio dei versanti come strumento di controllo della stabilità

È noto che, specie nel contesto di formazioni ad elevato contenuto di frazioni granulometriche fini, le sottospinte idrauliche che si sviluppano lungo la superficie di scivolamento possono influire assai negativamente sulle condizioni di stabilità di un versante. In condizioni *non drenate*, infatti, la spinta esercitata dall'acqua non è sostanzialmente verticale come accade nei terreni permeabili, ma essendo ortogonale alla superficie di scivolamento presenta delle componenti orizzontali la cui entità cresce approssimativamente in modo proporzionale al quadrato dell'altezza sezione immersa.



Analisi di stabilità eseguita automaticamente tenendo conto delle variazioni del livello freatico

È quindi chiaro che l'abbattimento del livello piezometrico non può che influire positivamente sulle condizioni di stabilità di un versante. In un contesto geotecnico di *frana quiescente* come quello che interessa l'area della discarica di Piani di Tiedoli è opportuno non escludere del tutto la possibilità che eventi meteorologici di particolare intensità possano causare una riattivazione del movimento del corpo franoso.

Per quanto allo stato attuale non si prospetti un rischio immediato di questa natura, il sito in oggetto si trova in una condizione di evoluzione dinamica, ed è quindi soggetto a possibili variazioni dei parametri di resistenza al taglio.

Si è pertanto valutata la possibilità di implementare un sistema automatico di calcolo di stabilità che incorpori i risultati delle letture piezometriche, il quale, nel momento attuale, offra una

informazione più completa al *team* di esperti che gestisce il controllo geotecnico del sito, e in un domani possa essere utilizzato per gestire in modo ottimale e con cognizione di causa un eventuale impianto di abbattimento del livello freatico.

Sviluppo “storico” dell’impianto di monitoraggio

In una prima fase è stato realizzato un impianto tradizionale, costituito da una stazione meteorologica e da alcuni piezometri ed inclinometri. Questo impianto era rivolto in particolare allo studio delle relazioni tra gli eventi climatici e le oscillazioni della superficie piezometrica, ed alla valutazione degli eventuali incrementi dello stato deformativo derivanti dalla variazione delle condizioni idrogeologiche.

Questo primo impianto veniva interrogato saltuariamente, utilizzando connessioni tradizionali basate sull’utilizzo di moduli cellulari GSM. Questa tecnologia ha però immediatamente mostrato una serie di importanti limitazioni: l’eterogeneità della strumentazione installata rendeva inutilmente complessa la sequenza operativa per l’interrogazione delle centraline, e nel contempo la validazione e l’interpretazione dei dati richiedeva una serie di procedure di processing intermedie lunghe e noiose. In più, la scarsa copertura del segnale GSM causava notevoli difficoltà di connessione durante finestre temporali piuttosto ampie.

Le nuove strategie di monitoraggio: il sistema GeoGprs

La necessità di mantenere la discarica sotto costante controllo ed il desiderio di implementare procedure avanzate di calcolo automatizzato ha portato la Comunità Montana, in accordo con i consulenti dell’Università di Parma, alla decisione di sfruttare l’occasione di un *upgrade* dell’impianto per convertire anche la parte già esistente al sistema GeoGprs.

Il sistema GeoGPRS è basato su un insieme hardware-software e si compone della scheda WebData, di un modulo GPRS completo di scheda SIM machine-to-machine e di software di gestione residente sui nostri server.

La scheda WebData è stata progettata per mantenere attiva, tramite modulo GPRS, una connessione Internet tra il server centrale ed una centralina di acquisizione già esistente, con la quale si può così stabilire una comunicazione veloce ed economicamente non gravosa.

La scheda dispone inoltre di quattro canali analogici ai quali possono essere collegati altrettanti trasduttori per l’acquisizione di dati.

Le dimensioni ridotte ed il basso consumo energetico rendono la scheda WebData particolarmente adatta ad impianti alimentati a batteria o tramite pannelli fotovoltaici.

Il server centralizzato ed il server di backup, localizzati presso le nostre strutture, provvedono a mantenere sempre attivo il collegamento con le centraline di monitoraggio e, grazie alla tecnologia GPRS, intrinsecamente multitasking, hanno la possibilità di rimanere contemporaneamente in contatto con un numero virtualmente illimitato di stazioni di misura, aumentando così in modo incomparabile la velocità del ciclo di acquisizione.

Il sistema GeoGprs è stato concepito per offrire un livello di flessibilità tale da poter integrare praticamente qualsiasi differente strumento di acquisizione, eventualmente implementando sui server i necessari protocolli di interrogazione.



Centralina completata con l'installazione del pannello solare di alimentazione

Questa notevole flessibilità del sistema ha permesso, nel caso dell'impianto della discarica di Piani di Tiedoli, la realizzazione di un sistema misto GSM-GPRS che ha conservato fra le strumentazioni preesistenti anche quelle che non potevano essere collegate direttamente alle schede WebData: tali strumentazioni continuano quindi ad essere interrogate tramite un modulo GSM, come nel caso della centralina meteorologica: nonostante la differente tipologia di interrogazione i dati acquisiti vengono comunque raccolti nel data-base generale e sono quindi disponibili per le elaborazioni automatizzate.

Il collegamento delle stazioni di monitoraggio ad un unico server centralizzato con collegamento GPRS permette infatti di ovviare anche a un tipico problema dei sistemi tradizionali: la difficoltà che si incontra nel rendere disponibili i dati acquisiti, si pensi ad esempio al verificarsi di una condizione di allarme od alla necessità di effettuare operazioni di trattamento ed analisi dei dati.

Con il sistema GeoGprs l'acquisizione, l'aggiornamento e la pubblicazione su Internet dei dati acquisiti diventano un unico passaggio automatizzato che garantisce l'accessibilità ai dati, trattati in modo omogeneo, indipendentemente dalla postazione di lavoro.

L'impiego del sistema GeoGprs in impianti di monitoraggio ambientale particolarmente sensibili, come nel caso della discarica di Piani di Tiedoli, risulta particolarmente efficace anche grazie ai moduli integrati di *post-processing* in tempo reale dei dati acquisiti.

Il sistema permette di gestire molteplici condizioni di preallarme ed allarme mediante l'invio di messaggi SMS e di e-mail. Le potenzialità del sistema consentono inoltre di prevedere, tra le possibili azioni conseguenti al manifestarsi di una situazione di allarme, l'aumento della frequenza di acquisizione, uno strumento indispensabile per avere costantemente il controllo completo delle diverse situazioni.



Il momento del collegamento dei sensori

La configurazione delle condizioni di allarme del sistema è gestita tramite l'uso di un *meta-linguaggio* di configurazione estremamente istintivo e naturale che permette di prevedere situazioni arbitrariamente complesse: allarmi differenziali, confronti tra valori, allarmi contemporanei, operazioni logiche ed algebriche possono essere effettuate con la massima semplicità.

In ultimo è possibile implementare con notevole semplicità moduli di calcolo aggiuntivi che vengono eseguiti automaticamente ad ogni ciclo di interrogazione dei trasduttori dell'impianto. Questo procedimento è quello che è stato seguito per effettuare i calcoli automatici di stabilità in funzione delle oscillazioni della superficie freatica.

Conclusioni

L'impianto di monitoraggio installato nella discarica "Piani di Tiedoli", nato dalla stretta collaborazione tra l'Ente gestore della discarica, i responsabili del monitoraggio del sito ed il *team* di sviluppo del sistema GeoGprs, presenta senza dubbio caratteristiche che lo collocano tra gli impianti più avanzati del settore: la completa accessibilità e configurabilità via Internet, la flessibilità delle procedure di gestione degli allarmi e delle funzioni di calcolo automatico offrono ai responsabili della gestione dell'impianto la possibilità di sviluppare la conoscenza del sito e dell'evoluzione delle sue condizioni idro-geotecniche a livelli di dettaglio estremamente elevati; il lavoro svolto per la realizzazione di questo impianto integrato può senza dubbio costituire una strada esemplare per tutti quei contesti in cui coniugare sorveglianza ed automazione significa ottenere maggiore sicurezza per la popolazione e per l'ambiente.