

LINEA 6 - METROPOLITANA DI NAPOLI

| | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|------|-------|---|---|
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| DIGA | URSO | MANFERLOTTI | DI LUCCIO | EMISSIONE | | | | MARZO | 0 | 0 |
| REDDATTO | CONTR. | APPROV. | AUTOR. | DESCRIZIONE | REVISIONE | DOCUMENTO | DATA | REV | | |



| PROG. | | IMP. | | | NUMERO | | | | | |
|--------|---|----------|---|---|--------|---|------|---|------|---|
| L | M | 6 | 7 | F | X | 9 | F | 1 | 5 | 0 |
| CODICE | | PRODOTTO | | | AREA | | TIPO | | FASE | |
| | | | | | | 9 | F | | D | E |

A termini di legge è rigorosamente vietato riprodurre o comunicare a terzi il contenuto del presente documento

TITOLO DOCUMENTO:

**LINEA 6 DELLA METROPOLITANA DI NAPOLI
PROGETTO DEFINITIVO MOSTRA-ARSENALE-CAMPEGNA
DEPOSITO ARSENALE**

TITOLO DOCUMENTO

**DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITÀ EFFETTUATE DAL DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA ED AMBIENTALE (DIGA)
NELL'AMBITO DELLA CONVENZIONE STIPULATA CON L'ANSALDO STS**



Consulenza Tecnico-Scientifica

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA GEOTECNICA ED AMBIENTALE DELL'UNIVERSITÀ DI
NAPOLI FEDERICO II**

IL RESPONSABILE TECNICO-SCIENTIFICO
Prof. Ing. Domenico Pianese

ASPETTI IDRAULICI ED IDROLOGICI
Prof. Ing. Domenico Pianese
Collaboratore: Dott. Ing. Luca Cozzolino

ASPETTI GEOLOGICI
Prof. Geol. Antonio Santo
Collaboratore: Dott. Geol. Giuseppe Di Crescenzo

ASPETTI GEOTECNICI
Prof. Ing. Gianfranco Urciuoli
Collaboratore: Dott. Ing. Raffaele Papa

Indice


| | |
|-------------------------------|-----------|
| 1. PREMESSE | 3 |
| 2. ANALISI IDROLOGICHE | 6 |
| 3. ANALISI IDRAULICHE | 8 |
| 4. ANALISI GEOLOGICHE | 10 |
| 5. ANALISI GEOTECNICHE | 12 |

DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITÀ EFFETTUATE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA ED AMBIENTALE (DIGA) NELL'AMBITO DELLA CONVENZIONE STIPULATA CON L'ANSALDO STS

1. PREMESSE

Successivamente ad una specifica Convenzione stipulata, nel mese di settembre del 2010, tra la ANSALDO STS e il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II (di qui in poi, denominato, per brevità, con l'acronimo DIGA), finalizzata a fornire, alla stessa ANSALDO STS:

1. una consulenza idrologica, volta alla valutazione delle portate al colmo di piena e dei volumi massimi di piena che possono affluire, in preassegnati intervalli di tempo D e per preassegnati valori del periodo di ritorno T, alle aree interessate dalla realizzazione del Deposito/Officina della Linea 6 della Metropolitana di Napoli e, più in particolare, alla vasca interrata e alla rete di canali di gronda e di collegamento alla vasca stessa da realizzare a difesa del futuro piazzale;
2. una consulenza geologica, finalizzata: da un lato, alla individuazione, di concerto con i tecnici della Ansaldo STS e delle Società e dei Tecnici da questa incaricati, delle indagini geognostiche, delle prove in sito e delle prove di laboratorio da eseguire sia per l'individuazione delle problematiche che potrebbero compromettere la sicurezza delle aree interessate dalla presenza del Deposito/Officina, sia per la caratterizzazione, sotto l'aspetto geologico, delle formazioni presenti sul costone direttamente sovraincombente sull'area che sarà interessata dalla realizzazione della stesso Deposito ferroviario; dall'altro, ad individuare e a posizionare all'interno di un sistema georeferito, i blocchi lapidei e/o le masse di detriti che potrebbero distaccarsi dai costoni e che, in conseguenza delle notevoli pendenze a disposizione per lo sviluppo di fenomeni gravitativi, potrebbero poi affluire alle aree vallive.
3. una consulenza idraulica, finalizzata: da un lato, all'analisi dei fenomeni di


| | | |
|--|---|---|
|  | <p>LINEA 6 - METROPOLITANA DI NAPOLI</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO MOSTRA – ARSENALE - CAMPEGNA DEPOSITO ARSENALE</p> <p>DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITÀ EFFETTUATE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA ED AMBIENTALE (DIGA) NELL'AMBITO DELLA CONVENZIONE STIPULATA CON L'ANSALDO STS</p> | <p>LM67FX9F150 rev. 00 Data: 31/03/11</p> |
|--|---|---|

propagazione delle colate detritiche che potrebbero innescarsi lungo i costoni direttamente sovraincombenti sull'area interessata dalla realizzazione del Deposito ferroviario, e a: a) valutare le aree che potrebbero essere invase dalle colate stesse sia in assenza che in presenza degli interventi di mitigazione previsti da parte dei tecnici incaricati dall'ANSALDO STS; b) stimare le azioni che tali fenomeni potrebbero esplicare sulle strutture coinvolte nei fenomeni di propagazione, tra le quali le stesse opere di mitigazione; c) suggerire le possibili opere da realizzare per la mitigazione del rischio da colata rapida; dall'altro, a consentire la verifica della vasca di laminazione/deposito prevista al di sotto del piazzale e delle opere di scarico al servizio di quest'ultima.

4. una consulenza geotecnica, finalizzata: da un lato, a programmare (di concerto col consulente geologo) ed interpretare le indagini e le prove da eseguire ai fini della caratterizzazione meccanica dei terreni presenti in corrispondenza dei siti dove verranno realizzate le principali opere di difesa dai fenomeni gravitativi che potrebbero interessare il versante; dall'altro, a sviluppare analisi di stabilità dei pendii sovra incombenti sul piazzale, proponendo, ove sia il caso, interventi di messa in sicurezza.

Tutte le predette attività sono state svolte da personale in servizio presso il DIGA o da loro collaboratori. In particolare, fermo restando il ruolo di Coordinatore Generale delle attività sviluppate dal personale del DIGA e di Responsabile Scientifico, da parte del DIGA, di tutte le attività previste in Convenzione svolto dal Prof. Ing. Domenico Pianese, Ordinario di Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, le attività di consulenza sono state così organizzate:

a) Analisi Idrologiche ed Idrauliche:

| | | |
|--|---|---|
|  | <p>LINEA 6 - METROPOLITANA DI NAPOLI</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO MOSTRA – ARSENALE - CAMPEGNA DEPOSITO ARSENALE</p> <p>DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITÀ EFFETTUATE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA ED AMBIENTALE (DIGA) NELL'AMBITO DELLA CONVENZIONE STIPULATA CON L'ANSALDO STS</p> | <p>LM67FX9F150 rev. 00 Data: 31/03/11</p> |
|--|---|---|

Coordinatore di settore : Prof. Ing. Domenico Pianese (Ordinario di Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II);

Collaboratori: Dott. Ing. Luca Cozzolino (Ricercatore Universitario Confermato di Costruzioni Idrauliche, Marittime e Idrologia, attualmente in servizio presso la Facoltà di ingegneria dell'Università degli Studio di Napoli "Parthenope");


Dott. Ing. Anna Scotto di Santolo (Dottore di Ricerca in Geotecnica, attualmente in servizio, come borsista, presso il DIGA);

b) Geologia:

Coordinatore di settore : Prof. Geol. Antonio Santo (Associato di Geologia Applicata presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II);

Collaboratore: Dott. Geol. Giuseppe Di Crescenzo (Dottore di Ricerca in geologia Applicata, attualmente in servizio, come borsista, presso il DIGA);

c) Geotecnica:

| | | |
|--|---|---|
|  | <p>LINEA 6 - METROPOLITANA DI NAPOLI</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO MOSTRA – ARSENALE - CAMPEGNA DEPOSITO ARSENALE</p> <p>DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITÀ EFFETTUATE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA ED AMBIENTALE (DIGA) NELL'AMBITO DELLA CONVENZIONE STIPULATA CON L'ANSALDO STS</p> | <p>LM67FX9F150 rev. 00 Data: 31/03/11</p> |
|--|---|---|

Coordinatore di settore : Prof. Ing. Gianfranco Urciuoli (Associato di Geotecnica presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II);

Collaboratore: Dott. Ing. Raffaele Papa (Dottore di Ricerca in Geotecnica, attualmente assegnista di Ricerca presso il DIGA);

In quanto segue, nel rinviare agli elaborati specificamente prodotti dai diversi Gruppi di Lavoro incastonati nel DIGA e, più in particolare, alle singole Relazioni di Settore, sono sinteticamente riportate le attività sviluppate dai Gruppi stessi, ed i principali risultati conseguiti.

2. ANALISI IDROLOGICHE


Le analisi idrologiche sviluppate dal Gruppo di Idraulici costituito presso il DIGA hanno avuto diverse finalità:

- a) stima delle portate massime istantanee che, per assegnati valori del periodo di ritorno T (in particolare, per $T = 20$ anni, $T = 100$ anni e $T = 300$ anni), possono affluire dai versanti della collina di Coroglio direttamente sovraincombenti il piazzale dove dovrà essere realizzata la stazione ferroviaria, e, nelle condizioni attuali dei luoghi (Condizione “*ante-operam*”), potrebbero quindi giungere, sia attraverso due Valloni che solcano i suddetti versanti, si direttamente per afflusso uniformemente distribuito al piede dei versanti, nel piazzale dell'ex Arsenale, determinandone l'allagamento e, quindi, lo sviluppo di condizioni di pericolosità e di rischio da alluvione;
- b) Stima dei massimi volumi di piena che, per assegnati valori del periodo di ritorno T (in particolare, per $T = 20$ anni, $T = 100$ anni e $T = 300$ anni), e in pre-assegnate durate D , possono affluire dai versanti della collina di Coroglio direttamente sovraincombenti il piazzale dove dovrà essere realizzata la stazione ferroviaria, e, attraverso le opere di canalizzazione previste nella versione del 31.03.2011 del Progetto Definitivo (costituite

sia da quattro canali di gronda ubicati a tergo di muri di sostegno previsti sul lato Est del piazzale, al piede dei versanti della Collina di Coroglio, sia da canali di collegamento), potrebbero poi pervenire, attraverso un deflusso a pelo libero, nella vasca di laminazione/deposito prevista al di sotto del piazzale e, quindi, attraverso le opere di scarico al suo servizio, nel collettore di Coroglio;

- c) Valutazione, su base probabilistica, con due diversi approcci (sia “variazionale” che facente riferimento a ipotetici “Idrogrammi di progetto”), delle possibilità di laminazione effettivamente offerte dalla vasca prevista al di sotto del piazzale, sia al fine di verificare la congruità del volume assegnato alla vasca stessa, sia allo scopo di verificare che, per eventi caratterizzati da un periodo di ritorno $T=20$ anni, le portate massime effluenti dalla vasca attraverso il suo sistema di scarichi e in arrivo al collettore di Coroglio non risultassero superiori a $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per quanto riguarda il primo aspetto (valutazione delle portate massime istantanee che, per assegnati valori del periodo di ritorno T (in particolare, per $T = 20$ anni, $T = 100$ anni e $T = 300$ anni), possono affluire dai versanti della collina di Coroglio, e possono: attualmente, invadere il piazzale; in futuro, dopo la realizzazione dei previsti interventi di regimentazione delle acque (Condizione “*post-operam*”), pervenire alle varie opere di canalizzazione individuate nella versione del 31.03.2011 del Progetto Definitivo e, attraverso queste, alla vasca di laminazione ubicata al di sotto del piazzale, per poi affluire, finalmente, al collettore di Coroglio, si è provveduto ad utilizzare le indicazioni dell’Autorità di Bacino della Campania Nord Occidentale, con ragionamenti sempre a vantaggio di sicurezza. In particolare, il modello di trasformazione afflussi-deflussi preso a riferimento è stato il modello cinematico (spesso indicato come “metodo della corrivazione”) stimando il *tempo di corrivazione* t_c in base alla formula di Giandotti, e il *coefficiente di afflusso* C_f in base alla permeabilità dei vari bacini e sottobacini (ed utilizzando, a tale scopo, una delle espressioni giudicate consone da parte della stessa Autorità di Bacino). I valori della media del massimo annuale della portata istantanea, poi presa a riferimento per la stima dei valori di portata massima istantanea corrispondente ai vari periodi di ritorno di specifico interesse ai fini della perimetrazione delle aree a rischio da alluvione sono stati, a loro volta, individuati considerando 8° vantaggio di sicurezza) il massimo tra il valore ottenuto in base all’applicazione o della semplice “formula razionale” o di un “approccio variazionale”, normalmente utilizzato in letteratura tecnico-scientifica. A loro volta, sempre a vantaggio di sicurezza, i valori della portata

| | | |
|---|---|---|
|  | <p>LINEA 6 - METROPOLITANA DI NAPOLI</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO MOSTRA – ARSENALE - CAMPEGNA DEPOSITO ARSENALE</p> <p>DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITÀ EFFETTUATE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA ED AMBIENTALE (DIGA) NELL'AMBITO DELLA CONVENZIONE STIPULATA CON L'ANSALDO STS</p> | <p>LM67FX9F150 rev. 00 Data: 31/03/11</p> |
|---|---|---|

massima istantanea corrispondenti ai vari periodi di ritorno di specifico interesse ai fini della perimetrazione delle aree a rischio da alluvione sono stati stimati utilizzando, in luogo dei “coefficienti di crescita col periodo di ritorno” relativi alla variabile idrologica “massimo annuale dell’altezza di pioggia in una assegnata durata”, quelli relativi alla variabile idrologica “massimo annuale della portata istantanea”, leggermente più elevati dei precedenti.


Analogamente si è proceduto anche per l’individuazione dei massimi volumi di piena che potrebbero affluire alla vasca di laminazione in preassegnati intervalli di tempo di durata D e per assegnati valori del periodo di ritorno T.

Le valutazioni effettuate hanno:

- a) Da un lato, fornito la possibilità di verificare la completa congruità dei volumi assegnati alla vasca di laminazione prevista al di sotto del piazzale ai fini di ridurre cospicuamente le portate massime istantanee affluenti al collettore di Coroglio e, in particolare, di verificare che, in corrispondenza di un periodo di ritorno $T=20$ anni, la capacità assegnata alla vasca di laminazione e la configurazione assegnata alle opere di scarico al suo diretto servizio sono tali da garantire che il valore della portata massima affluente, con periodo di ritorno $T=20$ anni, al collettore di Coroglio, risulti pari al limite di $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ richiesto dall’Ufficio Fognature del Comune di Napoli;
- b) Dall’altro, fornito gli input necessari (in termini di portate massime, concentrate e distribuite, attualmente affluenti al piazzale e, in futuro, nelle condizione “post-operam”, alle varie opere di canalizzazione previste, in progetto, a difesa del piazzale) per poter eseguire tutte le analisi idrauliche necessarie sia per valutare cosa può accadere nella Condizione “ante-operam”, sia, soprattutto, per attestare, come si attesta, che le opere di sistemazione idrogeologica previste nella versione del 31.03.2011 del Progetto Definitivo sono assolutamente in grado di evitare che, per piogge di periodo di ritorno T fino a 300 anni, possa verificarsi l’allagamento del piazzale.

3. ANALISI IDRAULICHE

Le analisi idrauliche eseguite dal Gruppo di Idraulici costituito presso il DIGA hanno avuto le seguenti finalità:

| | | |
|--|---|---|
|  | <p>LINEA 6 - METROPOLITANA DI NAPOLI</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO MOSTRA – ARSENALE - CAMPEGNA DEPOSITO ARSENALE</p> <p>DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITÀ EFFETTUATE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA ED AMBIENTALE (DIGA) NELL'AMBITO DELLA CONVENZIONE STIPULATA CON L'ANSALDO STS</p> | <p>LM67FX9F150 rev. 00 Data: 31/03/11</p> |
|--|---|---|

- a) Valutazione delle effettive possibilità che, nelle condizioni attuali dei luoghi (condizione “ante-operam”), in corrispondenza dell’arrivo, dai versanti a monte, di portate massime istantanee corrispondenti a periodi di ritorno $T = 20$ anni, $T = 100$ anni e $T = 300$ anni, il piazzale della zona ex Arsenale (da destinare, in futuro, a stazione ferroviaria e a officina/Deposito della linea 6 della Metropolitana di Napoli) può essere interessato da cospicui fenomeni di allagamento, tali da dare origine a livelli di pericolosità e di rischio sufficientemente elevati;
- b) Valutazione dell’effettiva efficacia degli interventi di sistemazione idrogeologica proposti nell’ambito della versione del 31.03.2011 del progetto definitivo (in particolare, dei quattro Canali di Gronda previsti immediatamente a monte dei muri di sostegno da realizzare al piede dei versanti della collina di Coroglio, sul lato Est del piazzale, e del collettore di collegamento del Vallone 1 alla vasca di laminazione prevista al di sotto del piazzale) ai fini della completa eliminazione del pericolo che, nella Condizione “post-operam”, il piazzale possa essere soggetto ad allagamenti in conseguenza delle acque di ruscellamento provenienti dai versanti della collina di Coroglio (almeno per periodi di ritorno T fino ai 300 anni);
- c) Valutazione delle aree suscettibili di invasione da parte di fenomeni di colata rapida e/o di flusso iperconcentrato conseguenti a distacchi di masse detritiche sciolte (il cui volume è stato stimato dal Gruppo di Geologi del Diga), con individuazione delle aree a “pericolosità” rispetto a tali eventi.
- d) Valutazione della effettiva capacità, da parte delle opere di canalizzazione previste nella versione del 31.03.2011 del Progetto definitivo predisposto dai Tecnici all’uopo incaricati dalla ANSALDO STS (i quattro canali di gronda e il collettore di collegamento diretto del Vallone 1 alla vasca di laminazione prevista al di sotto del piazzale) e della vasca di trattenuta alla quasi completa eliminazione del pericolo da colata rapida/flusso iperconcentrato che, attualmente, interessa il piazzale.

Le analisi idrauliche necessarie per tali verifiche sono state numerosissime, ed hanno richiesto l’impiego di sofisticati ed evoluti modelli matematici, di tipo sia uni-dimensionale che bi-dimensionale.

I parametri di tali modelli (necessari per valutare le resistenze al moto) sono stati assegnati:

- per quanto riguarda l'analisi dei flussi idrici, sulla base delle specifiche indicazioni in tal senso fornite dall'Autorità di Bacino della Campania Nord occidentale in uno dei suoi allegati al PAI recentemente aggiornato (2010);
- per quanto riguarda i fenomeni di colata rapida/flusso iperconcentrato, sulla base di specifiche analisi di laboratorio, condotte da personale del DIGA altamente qualificato su campioni di materiali direttamente prelevati sui luoghi da parte della Società tecnico (incaricata dalla ANSALDO STS di eseguire tutte le indagini ed i rilevamenti necessari per la progettazione degli interventi e per le analisi del DIGA);

I


risultati delle numerosissime analisi idrauliche eseguite sia con riferimento allo stato attuale dei luoghi (Condizione “ante-operam”) che relativamente alle condizioni che si verranno a realizzare dopo la costruzione ed il collaudo delle opere di sistemazione idrogeologica previste nella versione del 31.03.2011 del Progetto Definitivo redatto dai tecnici all'uopo incaricati dalla ANSALDO STS (Condizione “post-operam”) sono stati condensati nelle specifiche relazioni monotematiche consegnate in allegato, alle quali si rinvia, dunque, per tutti i dettagli del caso, e in numerosissimi Elaborati grafici, che pure si allegano alle varie relazioni settoriali.

4. ANALISI GEOLOGICHE

Il Gruppo di geologi del DIGA operante nell'ambito della Convenzione stipulata con la ANSALDO STS ha curato gli aspetti geologici relativi allo studio della pericolosità da frana della Collina di Posillipo nell'area dell'Arsenale Militare, dove sarà realizzata la Stazione di Campegna (LINEA 6 – METROPOLITANA DI NAPOLI) e un deposito ferroviario.

Lo studio è consistito nel rilevamento geologico dell'intero versante posto a monte dell'area di interesse, ovvero nella fascia compresa tra il pianoro sommitale della collina di Posillipo (posto a circa 190 m s.m.m.) e l'area pianeggiante della zona di Fuorigrotta-ex Arsenale (che si sviluppa a circa 25 m s.m.m.)

Per la redazione delle carte tematiche, sono state utilizzate, come basi topografiche, quella Tecnica Regionale, alla scala 1:5000, e una di maggiore dettaglio (1:1000)

| | | |
|--|---|---|
|  | <p>LINEA 6 - METROPOLITANA DI NAPOLI</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO MOSTRA – ARSENALE - CAMPEGNA DEPOSITO ARSENALE</p> <p>DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITÀ EFFETTUATE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA ED AMBIENTALE (DIGA) NELL'AMBITO DELLA CONVENZIONE STIPULATA CON L'ANSALDO STS</p> | <p>LM67FX9F150 rev. 00 Data: 31/03/11</p> |
|--|---|---|

appositamente eseguita dalla Società TECNO IN (incaricata dalla ANSALDO STS) attraverso l'elaborazione di un rilievo LIDAR aviotrasportato.

Lo studio è stato indirizzato al raggiungimento di diversi obiettivi:

- 1) Definizione del piano di indagini da far eseguire dalla TECNO IN e assistenza durante la loro esecuzione;
- 2) Approfondimenti geologici e proposta di ripermimetrazione dell'area, nelle sue condizioni attuali, partendo dagli elaborati di pericolosità e rischio da colata rapida di fango contenuti nel vigente PAI dell'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania;
- 3) Calcolo dei possibili volumi mobilitabili per frane da colata rapida;
- 4) Studio geostrutturale della parete in tufo e suscettibilità a frane da crollo;
- 5) Stratigrafia e sezioni geologiche in corrispondenza delle opere di mitigazione.

Per quanto riguarda la definizione della suscettibilità a franare, è stata applicata una metodologia analoga a quella utilizzata per la redazione e rivisitazione del Piano Stralcio dell'Autorità di Bacino della Campania Nord Occidentale redatto in scala 1:5000. Essa prevede la redazione di alcune carte tematiche, il cui successivo incrocio, effettuato in ambiente GIS, porta alla stesura della carta della suscettibilità a franare. Gli elaborati allestiti in tal senso sono:

- *Carta Geologica e valutazione dello spessore della coltre più alterata:* è stata redatta sulla base di numerosi sopralluoghi ed interpretazione delle numerose indagini dirette eseguite dalla TECNO IN;

- *Carta delle acclività:* è stata elaborata sulla base del rilievo LIDAR realizzato dalla TECNO IN che ha consentito di ricostruire un DEM e successivamente una carta molto dettagliata e più corrispondente alle reali caratteristiche geomorfologiche dell'area.

Alla carta di *pericolosità* finale si è pervenuti attraverso la individuazione delle aree a diversa suscettibilità all'insacco da frana e, successivamente, a quelle potenzialmente suscettibili all'invasione. In entrambi i casi, sono state seguite le stesse metodologie utilizzate per la redazione del PAI vigente dell'Autorità di Bacino. Più precisamente, la

carta di suscettibilità all'insacco è stata allestita determinando il grado di suscettibilità a frane del tipo colata rapida, utilizzando l'algoritmo proposto in Calcaterra et alii (2003) basato, essenzialmente, su due dei parametri ritenuti più significativi: lo spessore della copertura piroclastica alterata e l'acclività.

L'avanzamento delle potenziali frane è stato valutato, invece, tramite l'applicazione del "reach angle", utilizzando due valori: 38° dal PAI vigente; 35° dall'analisi di frane storiche presenti nell'area.


Lo studio, eseguito con notevole dettaglio, ha permesso di apportare alcune modifiche alla perimetrazione del PAI vigente e di individuare come suscettibili ad invasione, in assenza dei canali di gronda e di collegamento già previsti nella versione del 31.03.2011 del Progetto Definitivo, solo due piccoli tratti di binari di servizio.

Per quanto attiene lo studio del costone tufaceo, è stato eseguito un rilievo geostrutturale in parete, che ha permesso di riconoscere le aree maggiormente suscettibili al distacco. Sono stati stimati i volumi di roccia potenzialmente mobilitabili e definite le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del pendio, queste ultime utili ai fini del calcolo delle traiettorie dei blocchi.

Infine, particolare attenzione è stata rivolta alla geologia del sottosuolo dei settori in cui saranno fondate le opere di mitigazione (muri, canalette e vasche). Le 8 sezioni geologiche di dettaglio mostrano, con buon grado di precisione, i rapporti tra le diverse formazioni vulcano-clastiche alle quali, grazie allo studio del Prof. Urciuoli, si sono potuti assegnare i principali parametri geotecnici finalizzati ad una corretta progettazione delle opere.

5. ANALISI GEOTECNICHE

Lo studio geotecnico condotto dallo specifico Gruppo di Lavoro del DIGA ha affrontato le tematiche relative alla sistemazione idrogeologica del versante sovrastante l'area dell'ex arsenale

| | | |
|--|---|---|
|  | <p>LINEA 6 - METROPOLITANA DI NAPOLI</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO MOSTRA – ARSENALE - CAMPEGNA DEPOSITO ARSENALE</p> <p>DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITÀ EFFETTUATE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA ED AMBIENTALE (DIGA) NELL'AMBITO DELLA CONVENZIONE STIPULATA CON L'ANSALDO STS</p> | <p>LM67FX9F150 rev. 00 Data: 31/03/11</p> |
|--|---|---|

militare di via Campegna, con riferimento al rischio legato all'innescò di colate di fango ed al crollo di blocchi di tufo ed al progetto delle opere di sostegno alla base del versante.

Con riferimento ai fenomeni di instabilità deve essere immediatamente chiarito che, benché il versante sia esposto contestualmente sia al rischio di colate rapide, per la presenza di affioramenti di terreni sciolti di natura piroclastica, sia di crolli di roccia per la presenza di una balza tufacea (che interrompe la continuità orografica del versante stesso), il problema delle colate rapide appare, decisamente, più serio. Infatti, dai risultati ottenuti dalle analisi effettuate, emerge che nessun blocco arriva al piede del pendio, in quanto la loro traiettoria si arresta lungo il versante. Ciò nonostante, considerata l'incertezza dei calcoli eseguiti, legata alla considerazione che i modelli di riferimento non sono professionalmente consolidati (cioè, non sono stati usati per decenni nella pratica professionale, come invece avviene in altri settori dell'Ingegneria Civile), si è consigliato di prevedere, in progetto, comunque, un presidio di barriere paramassi, anche se del tipo "a bassa energia", cioè capaci di bloccare solo i blocchi dotati di modesta energia cinetica.

Per quanto riguarda le coltri di terreno sciolto, sulla base delle analisi eseguite, è stato riconosciuto come possibile l'innescò di colate di fango innanzitutto nel settore di versante corrispondente alla sezione *e-e'* e, in subordine, nei settori di versante corrispondenti alle sezioni *d-d'* e *f-f'*.

Per arrivare a questo risultato, per ogni sezione analizzata sono state condotte verifiche:

- in condizioni statiche, assegnando ai vari litotipi le caratteristiche fisiche e meccaniche derivanti dalla caratterizzazione geotecnica di laboratorio eseguita su terreno saturo, al fine di verificare la stabilità dei bacini in cui è stato suddiviso il versante (si veda la Relazione Geologica) nella ipotetica condizione di completa saturazione dei terreni; questa è una condizione molto gravosa, che potrebbe anche non verificarsi mai nella vita del pendio, in quanto le piogge, per quanto eccezionali, potrebbero incrementare il contenuto d'acqua del terreno ma non saturarlo del tutto;
- in condizioni statiche, ricercando, per la sola coltre rimaneggiata, il *valore di coesione minimo necessario* per l'equilibrio limite (valore corrispondente a un coefficiente di sicurezza $FS = 1$); con queste analisi, si è inteso indagare una situazione di esercizio in cui i terreni siano in condizione di parziale saturazione e, quindi, possono giovare della coesione apparente; nella realtà, non c'è alcuna garanzia che la coesione apparente così determinata sia sempre disponibile, perché potrebbero verificarsi piogge tali da indurre nel pendio

condizioni più gravose di quelle attuali a cui l'analisi si riferisce; tali parametri sono però utili per l'analisi sismica, perché è verosimile che il sisma si verifichi mentre il pendio si trova sotto condizioni idrogeologiche ordinarie (non in regime di completa saturazione);


- in condizioni sismiche, assegnando ai vari litotipi le caratteristiche fisiche e meccaniche derivanti dalle analisi di cui al precedente punto e non quelle relative ai terreni saturi.

Una volta eseguito il complesso di analisi, così come descritte, si è potuto concludere che le sezioni verificate con sufficiente margine di sicurezza (ad esempio con $FS > 1.2$) secondo la prima modalità di analisi (vale a dire: le sezioni $a-a'$, $b-b'$ e $c-c'$) possono ritenersi stabili, in quanto l'analisi eseguita porta in conto le peggiori condizioni idriche che possono instaurarsi nel versante; le altre sezioni sono suscettibili di frana in occasione di eventi di pioggia eccezionali. Le analisi eseguite consentono, comunque, di formulare un giudizio comparativo fra le varie situazioni analizzate, distinguendo i bacini più prossimi al collasso ($e-e'$) da quelli più stabili ($d-d'$ e $f-f'$).

Per quanto riguarda gli interventi previsti nella versione del Progetto Definitivo redatto nell'Aprile del 2011, è possibile fare le considerazioni che seguono.

Per le colate destinate ad incanalarsi nelle incisioni del reticolo di drenaggio è stata progettata una vasca di intercettazione del fango, dimensionata sulla base di accurate analisi di idrauliche. Essa è stata progettata ipotizzando, da un punto di vista strettamente idrologico, che tutte le portate affluenti dai versanti pervengano, attraverso i canali di gronda previsti a tergo dei muri perimetrali da realizzare sul lato Est del piazzale e le altre opere di canalizzazione, alla vasca di laminazione, senza alcuna mutua interferenza tra le varie correnti. Tale ipotesi appare senz'altro coerente con i ridotti valori delle portate di origine meteorica in arrivo ai canali stessi, e con la notevole capacità di convogliamento che tali canalizzazioni presentano rispetto alle portate liquide. Per quanto riguarda, invece, i fenomeni di colata rapida o di flusso iperconcentrato, l'ipotesi adottata per le verifiche è che i bacini delimitati sul versante siano, da punto di vista idraulico, unità mutuamente indipendenti e che, quindi, non collassino simultaneamente. E' stato mostrato che l'ipotesi dello sfalsamento nel tempo di innesco delle frane nei vari bacini è assai verosimile, dato che la sezione $e-e'$ si trova in condizioni di incipiente collasso, mentre le sezioni $d-d'$ e $f-f'$ potranno franare solo per effetto di piogge eccezionali, mentre è addirittura improbabile il franamento delle sezioni $a-a'$, $b-b'$ e $c-c'$.

Si pone poi il problema delle colate di fango su versante aperto, il cui corpo di frana, per quanto modesto, dovrà essere arrestato, evitando che pervenga al piazzale. A ciò, secondo quanto

| | | |
|--|---|---|
|  | <p>LINEA 6 - METROPOLITANA DI NAPOLI</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO MOSTRA – ARSENALE - CAMPEGNA DEPOSITO ARSENALE</p> <p>DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITÀ EFFETTUATE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA ED AMBIENTALE (DIGA) NELL'AMBITO DELLA CONVENZIONE STIPULATA CON L'ANSALDO STS</p> | <p>LM67FX9F150 rev. 00 Data: 31/03/11</p> |
|--|---|---|

previsto dalla versione del Progetto Definitivo redatta nell'aprile del 2011, si provvederà con le sistemazioni del piede del versante, attraverso sia la realizzazione di canali di gronda di sufficienti dimensioni e pendenze, sia il sovrizzo di circa 1 m delle opere di sostegno previste al piede del versante.

A tale proposito, va infatti osservato che il versante presenta, alla sua base, una conformazione pressoché verticale, e andrà quindi sostenuto con massicci muri di contenimento. A tali muri, così come previsto nella versione del Progetto Definitivo aggiornata all'aprile del 2011, è affidata non solo la funzione di sostenere i terreni retrostanti ma anche di arrestare il flusso di eventuali colate di fango che dovessero propagarsi sugli spicchi di versante aperto. Infatti, mentre le colate incanalate nelle incisioni del reticolo di drenaggio recapiteranno il fango in una vasca che sarà realizzata nella zona pedemontana, al di sotto del piazzale, le colate su versante aperto, in assenza di opportuni accorgimenti, quali parapetti e/o canali di guardia (ubicati alle spalle dei muri stessi e dimensionati per intercettare il fango e recapitarlo in appositi punti), avrebbero potuto raggiungere la parte sommitale dei muri di sostegno di progetto e, eventualmente, scavalcarli.

Napoli, 31.03.2011

Il Responsabile Tecnico-Scientifico
Prof. Ing. Domenico Pianese