

Regione Sicilia
Assessorato Turismo Trasporti e Comunicazioni
Autorità Portuale di Palermo

P.O.R. Sicilia 2000 - 2006 mis. 4.20
Convenzione del 12 dicembre 2002 per la realizzazione
del Porto Turistico di S. ERASMO

PORTO DI PALERMO
COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI DIFESA
DELLA DARSENA TURISTICA DI S. ERASMO

Contratto di concessione per la progettazione definitiva ed esecutiva -
costruzione - infrastrutturazione - arredo e gestione della darsena turistica

PROGETTO DEFINITIVO
All. b.4 - Relazione sismica

Palermo: 27 - 02 - 2007

L'impresa:



RESEARCH S.p.A. ENGINEERING

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
IL DIRIGENTE DELL' AREA TECNICA
(Ing. Bartolomeo Salvo)

L'AUTORITA' PORTUALE:

Redatto da:



RESEARCH S.p.A. ENGINEERING



SIGMA S.r.l. INGEGNERIA

Con la collaborazione:

consulenza strutturale
consulenza bati-stratigrafia
consulenza geologica
consulenza geotecnica
impianti tecnologici
sicurezza cantiere
ingegneria marittima
studio impatto ambientale
studio incidenza ambientale

Ing. Achille Orlando
Dott. Giuseppe Di Grigoli
Dott. Oreste Adelfio
Prof. Ing. Calogero Valore
Ing. Mario Scaduto
Ing. Giuseppe Marineo
SIGMA s.r.l. INGEGNERIA
SIGMA s.r.l. INGEGNERIA
C.I.S.A.C. Università degli Studi di Palermo



COMUNE DI PALERMO

**PROGETTO DEFINITIVO DI
COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI
DIFESA DELLA DARSENA TURISTICA
DI S. ERASMO**

RELAZIONE SISMICA

Dr. GEOLOGO ORESTE ADELFINO
via Esterna Cretazze n. 3 -
90046 Monteleale (Pa)
tel. 091 6402964



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Oreste Adelfio".



FEBBRAIO 2007

IL PROGETTISTA

INDICE

1. PREMESSA

2. STUDI PREGRESSI

2.1. METODOLOGIE APPLICATE

2.1.1. RIFRAZIONE

2.1.2. DOWN-HOLE

3. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

4. NOTA INFORMATIVA SULLA "NORMATIVE 3274 DEL2003"

1. PREMESSA

La presente relazione riguarda lo studio inerente la caratterizzazione sismica dei terreni nelle aree costiere orientali nel comune di Palermo, nell'intorno della foce dell'Oreto.

In base ai lavori effettuati precedentemente nelle aree oggetto del presente studio, si è potuto stilare la caratterizzazione sismica dei terreni interessati sulla base di prove sismiche eseguite sia in foro, tipo down-hole, che in superficie, sismica a rifrazione, al fine della caratterizzazione meccanico-fisica dei terreni.

Nella presente relazione verranno inserite le tabelle redatte con i valori delle velocità delle onde P ed S.

Verrà di seguito allegata una nota informativa sulla "Normativa della Presidenza del Consiglio dei Ministri - Ordinanza n.3274 del 20 Marzo 2003 anche se non ancora recepita dalla Regione Sicilia.

2. STUDI PRECEDENTI

Si è acquisita documentazione su indagini sismiche per la caratterizzazione dei terreni ricadenti nell'area.

Lo scopo di tali indagini era quello di ottenere informazioni sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in situ, eseguendo sia indagini a rifrazione che Down-Hole, al fine di caratterizzare la risposta sismica dei terreni, per un corretto dimensionamento delle opere in caso di sollecitazioni sismiche.

2.1. METODOLOGIE APPLICATE

2.1.1. SISMICA A RIFRAZIONE

La prospezione sismica è una metodologia d'indagine non distruttiva del sottosuolo consistente nello studio della propagazione delle onde sismiche nei terreni.

L'energia sismica generata in un punto dello spazio tende a propagarsi nel suo intorno in quanto ogni singola particella elementare direttamente energizzata tende ad oscillare su una posizione d'equilibrio conferendo un certo stato oscillatorio anche alle particelle adiacenti.

Quanto più rigide sono le particelle tanto meno assorbono l'energia oscillatoria e tanto più velocemente tendono ad energizzare le particelle vicine; queste, a loro volta, tanto più sono vicine o legate tra loro tanto più velocemente trasferiscono la perturbazione ad altre. Tale studio è perciò, particolarmente importante in quanto ogni terreno conduce le onde sismiche con velocità maggiore o minore in funzione delle sue proprietà fisico-meccaniche, ossia quanto più compatto e cementato è un terreno (particelle legate e vicine), tanto più velocemente conduce le onde sismiche.

Per i litotipi principali quali: argille, sabbie, arenarie, calcari, allo stato asciutto o in falda, alterati o integri, esistono dei range di velocità compatibili con le condizioni estreme in cui essi si possono presentare e di cui si riporta la tabella generale.

TABELLA

| LITOTIPO | VELOCITÀ ONDE P (M/S) |
|--------------------------------|-----------------------|
| Aerato superficiale | 300 - 800 |
| Terreno alluvionale sciolto | 400- 1.500 |
| Sabbia asciutta | 500 -1.000 |
| Sabbia umida | 600 -1.600 |
| Argilla | 1.500- 2.800 |
| Arenaria | 2.500- 4.000 |
| Calcare | 3.000- 5.000 |
| Acqua | 1.500 |

Qualora non si tratti di litotipi puri ma di soluzioni intermedie, come argille sabbiose, sabbie argillose, ecc., ovvero i litotipi siano alterati e/o fratturati il comportamento fisico-meccanico e, conseguentemente, le velocità sismiche ne risentono decisamente.

In particolare la metodologia sismica a rifrazione sfrutta la proprietà che hanno i mezzi sotto certe condizioni di potere rifrangere totalmente le onde sismiche al passaggio tra due mezzi che abbiano differente rigidità o impedenza acustica, dove per rigidità s'intende il prodotto della velocità di propagazione del mezzo per la densità del mezzo stesso $I = V \cdot d$.

La condizione essenziale affinché possa avvenire il fenomeno della rifrazione è che *la rigidità acustica dei terreni aumenti procedendo dalla superficie verso il basso*; in tal caso quando l'onda elastica arriva sul contatto tra due terreni a differente rigidità e l'angolo d'incidenza " θ ", rispetto alla normale al piano di

separazione dei due mezzi, è tale che: $\sin I = V_1/V_2$, allora avviene il fenomeno della rifrazione totale, cioè l'onda cammina lungo l'interfaccia finché non si propaga verso l'alto.

Il sondaggio sismico a rifrazione consiste pertanto nel disporre in modo equidistanziato un allineamento di geofoni, nel prelevare i tempi d'arrivo delle onde sismiche ad ogni geofono dopo avere energizzato almeno alle due estremità dell'allineamento (battuta diretta ed inversa), e nel prelevare i tempi del primo arrivo sismico ad ogni singolo geofono posto in posizione geometricamente nota.

La lunghezza dello stendimento di geofoni in sismica a rifrazione va programmata in considerazione del fatto che la profondità di penetrazione dipende dalla lunghezza totale dello stendimento dei geofoni; ed in generale si attesta intorno a valori di 1/3-1/4 della lunghezza.

Una volta eseguita la campagna d'indagine sismica, viene effettuata un'elaborazione dei dati sperimentali riguardanti i primi arrivi sismici ad ogni geofono mediante la costruzione di dromocrone, cioè curve realizzate ponendo in ascissa la posizione dei geofoni e dei punti d'energizzazione (in metri), ed in ordinata i tempi dei primi arrivi per ogni geofono ed ogni energizzazione (in millisecondi) (fig.1).

Il numero di spezzate che ottimizza la correlazione dei punti indica il numero degli orizzonti rifrattori rilevati, mentre per la determinazione della profondità e della velocità di ogni strato, si procede a verificare punto per punto le coppie che meglio approssimano i dati sperimentali, ottenendo un raccordo dei punti, che costituiscono gli orizzonti rifrattori a migliore approssimazione, mediante archi di circonferenza.

La restituzione grafica di questi calcoli è riportata in un'unica figura nella quale sono presenti in alto le dromocrone ed in basso sia la sezione sismostratigrafica interpretata in termini di profondità degli orizzonti rifrattori che la sezione di velocità di ogni orizzonte sismico, tali sezioni risultano tanto più reali quanto più il terreno si può approssimare ad un modello semplice di strati omogenei e isotropi con velocità crescenti verso il basso.

Al fine di trasformare i dati sismostratigrafici in dati di tipo geologico occorre procedere in modo da tarare le risposte sismiche dei vari litotipi in corrispondenza di punti geologicamente noti quali sondaggi meccanici a carotaggio continuo e affioramenti naturali ed artificiali.

In tal modo, ove possibile, si determinano dei range di velocità tipici per ogni litotipo presente nell'area di indagine e si possono effettuare le correlazioni e le interpretazioni geologiche delle indagini sismiche.

2.1.2. DOWN-HOLE

Le prove sismiche in foro sono tra le più utili per la caratterizzazione geomeccanica delle terre e delle rocce. Vengono effettuate in fori appositamente predisposti e forniscono le velocità sismiche (fasi P ed S) dei terreni. Attraverso queste è possibile calcolare anche i moduli elastici dinamici. La possibilità di disporre delle stratigrafie dei fori permette una associazione certa delle velocità rilevate ai litotipi investigati.

Per l'esecuzione delle prove sismiche in foro occorre che vengano preliminarmente eseguiti i fori geognostici. Questi devono essere condizionati per l'intera lunghezza mediante l'installazione di una tubazione in PVC della serie pesante, con diametro interno non inferiore ad 80 mm e sezione costante senza irregolarità e distorsioni. L'intercapedine fra parete del foro e tubazione definitiva viene sigillata con miscela autoindurente di acqua-cemento-bentonite, iniettata lentamente, a bassa pressione, attraverso la valvola di fondo e pistoncino a tenuta. La tubazione definitiva viene adeguatamente protetta mediante pozzetto fondato nel terreno e chiusa con coperchio e lucchetto.

Alla consegna del foro condizionato si procede all'esecuzione della prova vera e propria (fig.2). Questa viene realizzata ponendo una serie di geofoni tridimensionali a varie profondità (generalmente ad intervalli di due metri) accoppiandoli alle pareti del foro mediante un sistema a camera d'aria ed energizzando il terreno in superficie con un esploditore o una mazza battente e sistemi per la generazione delle onde di taglio, ad una distanza prefissata dalla bocca del foro (per fori poco profondi, max 2 m). Mediante un sismografo multicanale si registrano le tracce sismiche prodotte dalla sollecitazione e rilevate dai geofoni per tutte e tre le componenti del moto (una verticale e due trasversali). Attraverso la lettura di tali tracce si misura il tempo di percorso dei vari tipi di onde. E' possibile ricavare le "Velocità medie (V_{pM} e V_{sM})" tra la superficie e una determinata profondità Z a cui è posto un geofono mediante la:

$$(1) \quad V_M = Z/t \cos \alpha$$

$$\text{con } \alpha = \arctg D/Z;$$

(D è la distanza reale tra geofono e punto di energizzazione e t il tempo di percorso del tipo di onda considerata).

Utilizzando le differenze di tempi di arrivo tra due geofoni consecutivi vengono calcolate invece le "Velocità intervallari (V_{p_i} e V_{s_i})". Queste sono velocità medie limitatamente allo spazio tra due geofoni e quindi dovrebbero essere più facilmente associabili alla stratigrafia. Occorre però tenere in considerazione il fatto che essendo calcolate soltanto per mezzo di due valori è impossibile un controllo sulle deviazioni standard dei dati e quindi un controllo sui margini di errore. Si ha:

$$(2) \quad V_i = (Z_2 - Z_1) / (t_2 \cos \alpha_2 - t_1 \cos \alpha_1)$$

Possono infine essere calcolate le "Velocità di strato" (V_{p_s} e V_{s_s}) utilizzando i vari tempi di arrivo relativi ad un determinato livello litologico (desumibile dalla stratigrafia), o associando i tempi relativi a rette di regressione a pendenze diverse, identificando così, per determinati spessori, le velocità relative.

Dalle velocità delle onde longitudinali (P) e trasversali (S) è possibile ricavare il modulo o coefficiente adimensionale di Poisson (ν) che esprime il rapporto tra le deformazioni trasversali e le deformazioni longitudinali indotte nel mezzo; può assumere valori compresi tra 0 e 0.5, i valori più alti indicano generalmente comportamenti più plastici.

Nell'ipotesi che anche le velocità delle onde P misurate esprimono le caratteristiche elastiche dello scheletro solido, conoscendo i valori di densità (ρ), è inoltre possibile calcolare, dalle velocità sismiche, i moduli elastici dinamici, tra cui:

- Modulo di Young o di elasticità lineare (E) corrispondente al rapporto tra lo sforzo applicato ad un corpo e la variazione relativa di lunghezza;

- Modulo di taglio o rigidità (G) dato dal rapporto tra sforzi di taglio e deformazioni angolari, che esprime la capacità di resistenza del corpo alle variazioni di forma, (ad esempio, è nullo nell'acqua);

- Modulo di compressibilità volumetrica o bulk (K) espresso dal rapporto tra pressioni totali e variazioni relative di volume.

Questi moduli vengono espressi in MPa (pari a circa 10kg/cm^2). Si osservi che i moduli elastici, calcolati attraverso le misure di velocità in situ, non sono direttamente confrontabili con i valori ottenuti in laboratorio (moduli elastici statici) sia a causa del tipo e modalità di sollecitazione sia perché i moduli calcolati in laboratorio sono relativi a piccoli campioni, mentre i dati ottenuti dalla sismica riguardano grandi volumi di roccia in posto. In generale i moduli elastici dinamici risultano più elevati di quelli calcolati per via statica.

3. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Il territorio comunale di Palermo rientra, nella zonazione sismica italiana, nella seconda categoria con grado di sismicità S pari a 9 e con un coefficiente di intensità sismica C , calcolata come $(S-2)/100$ pari conseguentemente a 0.07.

Questo valore di C rappresenta una grandezza convenzionale che associato al criterio di verifica alle tensioni ammissibili conduce a progetti relativamente sicuri ed in condizioni di sicurezza.

Ciononostante considerate le scarse caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni presenti nell'area è consigliabile considerare un fattore aggiuntivo del coefficiente di intensità sismica pari al 20%.

Lo studio della pericolosità sismica è stato condotto sino adesso sulla scorta delle indicazioni emanate dall'Assessorato Territorio e Ambiente con apposita Circolare 2222 del 31/01/95. Lo scopo della circolare, almeno negli intenti iniziali, era infatti quello di recepire la L183/89 e l'articolo 20 della L10/12/1981 n.741 sui gli aspetti riguardanti la riduzione del rischio geologico e sismico nella pianificazione territoriale

In particolare secondo la circolare si ritiene opportuno "attenzione le problematiche riguardanti il fattore pericolosità sismica locale che rappresenta il primo passo per la riduzione del rischio sismico"

Il fattore "Pericolosità sismica" dipende però da svariati fattori che possono essere raggruppati in due grosse categorie:

- fattori dipendenti dalla natura intrinseca del sisma (magnitudo e intensità massima frequenza, accelerazione di picco e tempo di ritorno più prossimo);
- fattori dipendenti dalle condizioni geologiche locali che possano produrre variazioni sulla risposta sismica locale del sito (amplificazioni locali per cause geologiche, fisico-meccaniche, geotecniche e geomorfologiche del terreno).

Il nostro intervento riguarderà pertanto questa seconda categoria introducendo parametri idonei alla *microzonazione sismica*.

Sinteticamente verranno riportati i valori di velocità sismica e i dati utili estratti dai lavori eseguiti dallo scrivente e da altri autori:

- "Indagine sismica per la caratterizzazione dei terreni ricadenti nell'area di prescrizione esecutiva del piano regolatore di Palermo" della GeoSciences di Ciulla Francesco (Relazione geofisica 1997)
- "Il rischio sismico nel centro storico di Palermo: un approccio alla determinazione dell'effetto di sito" di Pietro Todaro (Geologi di Sicilia 1/2003);
- "Settore sud orientale della città di Palermo: studio stratigrafico-geotecnico della porzione non interessata dai depositi alluvionali dell'Oreto" di A. Contino, M.S. Giammarinaro & S. Varsalona (Geologi di Sicilia 3/2003).

Geologicamente i terreni oggetti del nostro studio sono costituiti dall'alto verso il basso da:

- Terreno vegetale rossastro, spessore variabile da 1 a 2 metri dal piano campagna;
- Calcarenite con nicchie di terra residuali e/o bioclastiti; biocalcarenite a grana fine e media, da mediamente a ben cementata, a tessitura uniforme, presente in strati e banchi spesso ben definiti; calcilutiti; calcarenite a tessitura pseudonodulare composte da pseudo noduli interconnessi tra loro con sabbie ben addensate; sabbie calcarenitiche a grana grossa con presenza di ghiaia, gradate e laminate (pleistocene); si evidenzia nei dati in mio possesso dai 7 ai 9 metri di profondità con uno spessore variabile dai 4 ai circa 5 metri;
- Limo argillosi e/o argille sabbiose, sabbie fini limose (silt), di colore grigio, con presenza di tritume fossile appartenenti al complesso delle argille azzurre (pleistocene inferiore); si sono evidenziate nelle aree prossime al sito dai 7 metri e sino ai 30 metri dal p.c.;

Dall'elaborazione e dall'interpretazione dei dati disponibili da precedenti indagini in sito in tale area, si è consentita la caratterizzazione dei terreni per quanto riguarda il loro comportamento al passaggio delle onde P e delle S sino ai 30m di profondità dal piano campagna.

Dai dati sperimentali si riportano i risultati nella seguente tabella

TABELLA 1

| Terreni | intervalli profondità riscontrati (m) | Velocità intervallare onde P (m/s) | Velocità intervallare onde S (m/s) | Rapporto Vp/Vs su valori medi |
|---|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| TV e/o Riporto | 0 - 1.5 | 350-700 | 120-490 | 1.72 |
| CC litoidi | 1.5 - 9 | 1800-2100 | 800-1100 | 2.05 |
| CC sabbiose | | 800-1400 | 450-750 | 1.83 |
| SL Sa limose Li arg/Ag sab poco addensate | 9 - 30 | 900-1400 | 300-600 | 2.55 |
| SL Sa limose Li arg/Ag sab ben addensate | | 1300-2100 | 600-1000 | 2.12 |

Un altro elemento diagnostico da verificare è la corretta analisi degli effetti locali "effetto sito" che può condurre ad una riduzione della vulnerabilità del sistema terreno-fondazione-struttura grazie ad interventi mirati.

Nell'ipotesi di un substrato rigido ricoperto da un terreno deformabile, che è il modello di riferimento per l'analisi della risposta sismica locale, il passaggio di un onda sismica dal secondo strato al primo strato provoca un'amplificazione dell'intensità sismica.

Secondo la teoria classica di microzonazione (Mendvedev 1965)) l'insorgere di tali fenomeni d'amplificazione non sono trascurabili in corrispondenza dei due ultimi strati geologici di superficie. Il "pacco" di terreno dove è possibile assumere come costante il valore di rigidezza sismica è di almeno 15 metri.

Noti i parametri V_s , velocità delle onde di taglio e ρ valori di densità dei terreni si può facilmente calcolare la rigidità sismica o impedenza sismica, vedi tabella 2.

TABELLA 2

| Terreni | Densità γ/g | Velocità onde S (m/s) | Rigidità sismica Z |
|---|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| TV e/o Riporto | 1.88 | 120-490 | 573.4 |
| CL lapidee | 1.83 | 800-1100 | 1738.5 |
| CL sabbiose | 1.93 | 450-750 | 1158 |
| SL Sa limose Li arg/Ag sab poco addensate | 1.92 | 250-500 | 720 |
| SL Sa limose Li arg/Ag sab ben addensate | 2.02 | 600-1000 | 1760 |

Si è potuto osservare sperimentalmente che l'entità dei danni alle costruzioni tende a diminuire con l'aumentare della **rigidità (o impedenza) sismica**

$$Z = V_s \cdot \rho$$

Il rapporto d'impedenza sismica detto **contrasto di rigidità sismica o impedenza acustica** è

$$I = Z_2 / Z_1$$

dove Z_1 e Z_2 rappresentano rispettivamente i valori dell'impedenza (o rigidità sismica) della formazione di base (considerata come bed-rock) e della copertura del sistema geologico, considerati di volta in volta come binari.

Essendo modesto lo spessore di copertura delle terre rosse residuali esse non verranno inserite nel modello litotecnico da noi considerato.

modello 1: successione FN – SL – CC; classe I: $5m \leq CC \leq 10$; $SL > 20m$

Considerando per i 30 metri da noi indagati il bed-rock costituito dalla formazione delle argille azzurre poco addensate sotto la copertura calcarenitica sabbiosa si evince un **impedenza acustica** pari a

$$I = Z_{SL} / Z_{CC} = 720 / 1158 = 0.62$$

considerando il contrasto di rigidità sismico tra il Flysch Numidico (rigidità sismica tra 3397 e 1287) sottostante le argille azzurre poco addensate vedremo

Geologo Oreste Adelfio

che solo al passaggio dal flysch molto consistente avremo una impedenza acustica prossima al cinque:

$$I = Z_{FN} / Z_{SL} = 3397 / 720 = 4.72$$

Causa d'incrementi non trascurabili dell'eventuale effetto d'amplificazione locale sono i valori di contrasto di rigidità $I > 5$, limite discriminante oltre il quale si possono produrre *effetti di sito* sull'edificato.

Solo il rilievo geologico di superficie integrato dai dati del sottosuolo sia di tipo geofisico che geotecnico ha permesso la ricostruzione litotecnico dell'area.

Si può pertanto affermare che le calcareniti presentano un contrasto d'impedenza acustica Z_{SL} / Z_{CC} sfavorevole alla generazione di *effetti di sito* (amplificazione) mentre potrebbero esserlo le sabbie limo argillose (non presenti nel sito di S. Erasmo) le quali presentano, all'analisi geotecnica, alta deformabilità e bassa resistenza alla rottura, dando luogo a contrasti d'impedenza acustica favorevoli alla generazione di effetto di sito che le soprastanti calcareniti forse in parte riescono a compensare.

Si ricorda che le onde S (di tagli) sono quelle più distruttive nei confronti delle costruzioni poiché arrivando dalla formazione di base producono spostamenti orizzontali del terreno.

IL GEOLOGO 

