



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Dipartimento  
di Ingegneria Strutturale,  
Edile e Geotecnica

IN COLLABORAZIONE CON:



ORDINE DEGLI  
**INGEGNERI**  
DELLA PROVINCIA DI  
**TORINO**

**XXV  
2018**

**CONFERENZE DI GEOTECNICA  
DI TORINO  
XXV CICLO  
8 e 9 NOVEMBRE 2018**

**ANALISI E PROGETTO  
DELLE OPERE GEOTECNICHE  
IN ZONA SISMICA**

CON IL PATROCINIO DI:



ASSOCIAZIONE  
GEOTECNICA  
ITALIANA



ORDINE DEI GEOLOGI  
DEL PIEMONTE

POLITECNICO DI TORINO - AULA MAGNA - CORSO DUCA DEGLI ABRUZZI, 24 - TORINO

## **Abstract**

Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018

***Alberto Burghignoli***

Site classification and site effects in the seismic norms: work in progress for the revision of Eurocode 8

***Roberto Paolucci***

Microzonazione sismica e risposta sismica locale: specificità e aspetti critici

***Sebastiano Foti, Mauro Aimar, Andrea Ciancimino, Federico Passeri***

Microzonazione sismica per il Rischio Liquefazione

***Carlo G. Lai, Francesca Bozzoni, Valerio Poggi, Elisa Zuccolo, Claudia Meisina, Antonino Famà, Daniele Conca, Roberta Boni, Renato Cosentini, Luca Martelli, Ali G. Özcebe***

Soil Structure Interaction Analysis in Liquefiable Materials using Advanced Numerical Methods

***Pedro Arduino, Alborz Ghofrani***

Soil-Structure Interaction in the Seismic Design and Retrofit of Bridges

***Ioannis Anastasopoulos***

Prestazioni e gerarchia delle resistenze nella progettazione delle opere di sostegno

***Luigi Callisto***

Vulnerabilità sismica di edifici fondati su pali: importanza dell'interazione fondazione-terreno-struttura

***Luca De Sanctis, Maria Iovino, Raffaele Di Laora***

Prestazione sismica dei pozzi di fondazione

***Sebastiano Rampello, Domenico Gaudio***

Gallerie in zona sismica

***Emilio Bilotta, Stefania Fabozzi***

Alcune considerazioni sulla rivalutazione della sicurezza sismica delle dighe di materiali sciolti

***Giuseppe Lanzo***

# Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018

Alberto Burghignoli

*Ordinario di Meccanica delle terre a.r. nella Sapienza Università di Roma*

## ABSTRACT

In questa nota si illustrano le principali novità delle Norme Tecniche per le Costruzioni, messe con il DM 17.01.2018 (NTC18). Queste norme sono da considerarsi una revisione e un aggiornamento delle NTC08 che, allora, rappresentarono un vero e proprio salto epocale rispetto alla normativa previgente, con l'introduzione delle verifiche agli stati limite e l'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza. Rispetto alle NTC08, la novità più rilevante riguarda il riferimento a un solo approccio progettuale per ciascuna opera. Più in particolare, per gli scavi o i rilevati, le fondazioni e i muri di sostegno, per i quali le precedenti NTC08 offrivano una scelta tra l'approccio progettuale 1 (DA1) e l'approccio progettuale 2 (DA2), con le nuove norme si prescrive il solo approccio DA2.

L'approccio DA1 è stato mantenuto per quelle opere, le paratie e i rivestimenti delle gallerie ad esempio, nelle quali la rigidità relativa struttura-terreno impone che le verifiche scaturiscano sempre da analisi d'interazione. Per chiarire il significato e le ragioni nell'impiego di questo approccio progettuale sono illustrate, a titolo esemplificativo, le verifiche SLU, geotecnica e strutturale, di una semplice paratia con un livello di vincolo in testa, svolte con diversi metodi di analisi.

La nota prosegue poi con la sintetica descrizione degli aspetti innovativi delle regole tecniche riguardanti le opere e i sistemi oggetto delle nuove norme, in campo statico e in presenza di azioni sismiche. Riguardo a queste ultime, le nuove norme introducono un'altra significativa novità. Già le NTC08 avevano prescritto l'impiego di valori unitari dei coefficienti parziali di sicurezza per le azioni; le NTC18 estendono questa prescrizione anche ai coefficienti per i parametri geotecnici, affidando ai coefficienti  $\gamma_R$  il margine di sicurezza. Questa scelta ha comportato anche la rimodulazione dei coefficienti di spostamento  $\beta$ , impiegati nelle analisi pseudo-statiche.

# Site classification and site effects in the seismic norms: work in progress for the revision of Eurocode 8

Roberto Paolucci

*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Milano, Italy*

## ABSTRACT

In this paper an overview of the proposed criteria for site categorization and calculation of site amplification factors is presented, according to the final draft submitted by the Project Team 1 (CEN/TC250/SC8, 2018), in charge of redrafting the Part 1 of Eurocode 8, as regards performance criteria, seismic actions and general approaches for seismic analysis. A synthesis of the main requirements is illustrated, together with the comparison of the proposed site amplification factors with those adopted in the present Eurocode 1 Part1, and with those resulting from available ground motion prediction models calibrated on European records.

Simplified criteria to be adopted when a complete site information is missing are presented, together with the alternative use of a site categorization based on  $f_0$  (fundamental frequency of the soil deposit) instead of  $H_{800}$  (thickness of the soil deposit).

# **Microzonazione sismica e risposta sismica locale: specificità e aspetti critici**

Sebastiano Foti, Mauro Aimar, Andrea Ciancimino e Federico Passeri

*Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino, Torino, Italy.*

## **ABSTRACT**

La pericolosità sismica, ossia lo scuotimento atteso, è fortemente influenzata dalle specifiche condizioni di sito che possono comportare fenomeni di amplificazione dovuti ad effetti stratigrafici e topografici. Gli studi condotti alla scala territoriale e alla scala locale della singola opera rappresentano due elementi complementari, che spesso vengono erroneamente messi in contrapposizione.

Nella presente nota vengono considerati gli elementi distintivi delle due tipologie di studi, presentando alcuni esempi tratti dalle recenti esperienze riguardanti gli studi condotti in Centro Italia a seguito degli eventi sismici del 2016.

Successivamente vengono considerati due aspetti critici per la valutazione delle azioni sismiche: l'influenza delle incertezze associate alla caratterizzazione del sito e l'affidabilità degli approcci semplificati proposti dalle normative sismiche, con specifica attenzione alle NTC2018.

# Microzonazione Sismica per il Rischio Liquefazione

Carlo G. Lai<sup>1</sup>, Francesca Bozzoni<sup>2</sup>, Valerio Poggi<sup>3</sup>, Elisa Zuccolo<sup>1</sup>, Claudia Meisina<sup>4</sup>, Antonino Famà<sup>1</sup>, Daniele Conca<sup>1</sup>, Roberta Boni<sup>4</sup>, Renato Cosentini<sup>5</sup>, Luca Martelli<sup>6</sup>, Ali G. Özcebe<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, DICAr, Università degli Studi di Pavia

<sup>2</sup>Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica, EUCENTRE, Pavia

<sup>3</sup>Global Earthquake Model, GEM, Pavia

<sup>4</sup>Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, DSTA, Università degli Studi di Pavia

<sup>5</sup>Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, DISEG, Politecnico di Torino

<sup>6</sup>Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, Bologna

<sup>7</sup>Università degli Studi di Pavia, DICAr, e Dipartimento di Ing. Civile e Amb. Politecnico di Milano

## ABSTRACT

Gli studi di microzonazione sismica sono di fondamentale importanza nella pianificazione sull'uso del territorio. La zonazione sismica a scala urbana non riguarda solo la distribuzione spaziale dell'intensità del moto sismico atteso ma anche l'identificazione delle zone potenzialmente suscettibili, al verificarsi di un sisma, a fenomeni d'instabilità co-sismica come frane sismo-indotte oppure la liquefazione dei terreni. La zonazione di un territorio per il rischio liquefazione a differenti scale geografiche è uno dei principali obiettivi del progetto di ricerca europeo LIQUEFACT attualmente in corso di svolgimento. In questo ambito, è stato selezionato come caso di studio italiano per la zonazione a scala urbana, il Comune di Cavezzo (MO) in Emilia-Romagna, dove si manifestarono copiosi fenomeni di liquefazione durante la sequenza del 2012. L'articolo illustra le fasi di analisi in cui è stato articolato lo studio di microzonazione sismica di Cavezzo. All'inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico del territorio, è seguita la definizione del modello geotecnico e sismostratigrafico effettuata a partire dai risultati delle indagini in sito e di laboratorio eseguite a Cavezzo nel corso degli anni. L'input sismico di riferimento è stato definito per tre periodi di ritorno (475, 975 e 2475 anni) e, successivamente, utilizzato per l'esecuzione di analisi di risposta sismica locale. I risultati di questo lavoro hanno consentito di definire mappe che mostrano la distribuzione spaziale dell'intensità del moto sismico atteso a Cavezzo. Dalla combinazione di queste mappe e di quelle della vulnerabilità geotecnico-sismica del territorio comunale, sono state calcolate le carte del rischio liquefazione (approccio disaccoppiato). Successivamente sono state localizzate su queste carte le manifestazioni storiche di fenomeni di liquefazione avvenuti nel territorio comunale. Infine, sono brevemente illustrati alcuni sviluppi avanzati di microzonazione sismica, tra cui la presa in conto dell'incertezza epistemica nella valutazione del rischio liquefazione, l'utilizzo dell'approccio accoppiato in sforzi efficaci così da predire la risposta sismica locale in presenza di suoli liquefacibili e la microzonazione della espansione laterale (*lateral spreading*) associato a porzioni di territorio caratterizzate da pendenze, anche modeste, evidenziate dalla carta geomorfologica.

# Soil Structure Interaction Analysis in Liquefiable Materials using Advanced Numerical Methods

Pedro Arduino, Alborz Ghofrani

*Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington, Seattle, WA, USA*

## ABSTRACT

With the fast growth in computational power, numerical modelling of seismic events has become a viable tool used in Performance-Based Earthquake Engineering (PBEE). However, problems in geotechnical earthquake engineering often involve complex geometries and boundary conditions prohibiting the use of simple models. This is particularly true is Soil Structure Interaction (SSI) problems where the interaction between the soil and pile foundations is highly nonlinear and inherently complex in nature. For problems with complex geometries, discretization of the model to incorporate interface elements, e.g. contact elements, zero-length springs, etc. can be extremely cumbersome. In this context, embedded beam elements with explicitly defined interaction surfaces can drastically simplify the discretization process while maintaining accuracy and convergence of the numerical model. This paper discusses one of such elements and its application to earthquake dynamic SSI. The proposed element formulation imposes representative interaction constraints between a 1D beam element embedded inside a 3D solid body over an explicitly defined interface surface. This element can be used in dynamic analysis and effects of seismic and co-seismic events can be evaluated using this formulation. The paper presents results for two 3D dynamic finite element models of a typical problem in which a deep foundation system with its surrounding soil, which is susceptible to liquefaction, is subjected to earthquake excitation.

# Soil–Structure Interaction in the Seismic Design and Retrofit of Bridges

Ioannis Anastasopoulos

*Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, ETH, Zürich, Switzerland*

## ABSTRACT

The paper presents a comparative assessment of two different approaches in the seismic design and retrofit of bridge foundations. Two case studies are presented, inspired from existing bridges of the Attiki Odos motorway (Athens, Greece) and of the Swiss national motorway (Autobahn) founded on shallow and piled foundations, respectively. The current design approach which demands an elastic soil-foundation response is compared to the concept of ductility (plastic design), allowing for nonlinear performance of the foundation under seismic loading. In the first case study, the rocking isolation concept is explored modifying the actual design of a newly built modern overpass bridge reducing the size of the footing. The seismic performance of the rocking isolated bridge is comparatively assessed to the existing one (conventionally designed according to current seismic codes) under severe seismic shaking, thus exploring its potential applicability. In the second case study, nonlinear soil-foundation response is exploited as an alternative to the conventional retrofit design of an existing pile group. The latter is assumed to be designed and built according to the practice of the 1960s-1970s, which is the case for most of bridges in Switzerland. The retrofit is necessary due to deck widening, in order to accommodate increasing traffic demand. In both cases, detailed 3D finite element (FE) models are developed and the performance of the selected systems is examined under nonlinear dynamic time history analyses. The study summarises the benefits and limitations of nonlinear SSI for the two cases examined, offering insights on the application of alternative design concepts in the design of new and in the retrofit of existing foundations.



# **Prestazioni e gerarchia delle resistenze nella progettazione sismica delle opere di sostegno**

Luigi Callisto

*Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Sapienza Università di Roma*

## **ABSTRACT**

In questo articolo viene illustrato con l'ausilio di alcuni casi di studio il comportamento sismico di diverse tipologie di opere di sostegno, limitando la trattazione alle opere che, per effetto del proprio schema statico e della funzione svolta, possano ammettere spostamenti permanenti in conseguenza di un evento sismico. Prendendo come riferimento il comportamento esibito da modelli numerici di queste opere nel corso di analisi dinamiche non lineari, viene illustrato un approccio semplificato per la progettazione. La procedura proposta si basa sulla formulazione di adeguati criteri di gerarchia delle resistenze volti a proteggere i principali componenti strutturali delle opere e ad evitare meccanismi fragili; essa prevede inoltre la previsione esplicita degli spostamenti, ottenuta mediante una procedura di tipo disaccoppiato che porta in conto in modo semplificato la risposta dinamica dell'insieme terreno-opera di sostegno attraverso un modello a un singolo grado di libertà, caratterizzato da un legame non lineare ricavabile dal comportamento statico dell'opera. Nell'articolo, il metodo è dapprima sviluppato per le paratie a sbalzo ed è successivamente esteso a diverse categorie di opere di sostegno.

# Vulnerabilità sismica di edifici fondati su pali: importanza dell'interazione fondazione-terreno-struttura

Luca de Sanctis e Maria Iovino

*Dipartimento di Ingegneria, Università di Napoli Parthenope, Napoli, Italy*

Raffaele Di Laora

*Dipartimento Ingegneria Civile Ambientale Edilizia, Università della Campania Luigi Vanvitelli, Aversa (Ce), Italy*

## ABSTRACT

In questo articolo si affronta il problema dell'interazione terreno-fondazione-struttura per edifici fondati su pali, mediante l'analisi comparativa fra la domanda sismica del sistema a base fissa e quella del sistema a base deformabile. Le analisi di interazione fra edificio e fondazione su pali sono svolte in modo semplificato, con la forma estesa del metodo di Maravas *et al.* (2014), in cui il sistema completo viene idealizzato mediante uno SDOF su base deformabile con proprietà che variano in modo continuo con la frequenza di eccitazione. Il passaggio cruciale è la valutazione dell'impedenza dinamica delle fondazioni. L'approccio suggerito può essere applicato in modo efficace ai fini di una valutazione approssimata degli effetti di SSI per edifici su pali, ad esempio nell'ambito di analisi di vulnerabilità sismica di primo livello di aggregati urbani di edifici. Oppure, con riferimento al singolo caso, per stabilire a-priori la rilevanza dell'interazione fra edificio e fondazione, valutando così l'opportunità di includere gli effetti di interazione nell'analisi di vulnerabilità sismica dell'edificio nel modo più indicato. Nell'articolo si illustra quindi un'applicazione del procedimento anzidetto al caso di un edificio in cemento armato di 9 piani con sistema sismoresistente telaio-setti, per due sottosuoli reali, con diversi modelli dello stesso edificio, in cui si tiene conto in vario modo del comportamento dei pannelli murari sulle pareti perimetrali. Le analisi sono svolte per un numero molto rilevante di accelerogrammi (400 per ogni modello di edificio), nella logica del metodo a strisce multiple. Viene infine suggerito un criterio molto semplice per tenere conto degli effetti di interazione nell'ambito della classica analisi modale con spettro di risposta. I risultati ottenuti mostrano che l'interazione fra edificio e fondazione su pali conduce ad una rilevante riduzione della domanda sismica per il sottosuolo con proprietà scadenti, e cioè proprio nel caso in cui si ricorre solitamente ad una fondazione su pali per evitare la rottura per carico limite della fondazione diretta o per ridurre il cedimento della fondazione.

# Prestazione sismica dei pozzi di fondazione

Sebastiano Rampello e Domenico Gaudio

*Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università di Roma La Sapienza, Roma*

## ABSTRACT

In questo articolo si discutono i metodi per la valutazione della prestazione sismica dei pozzi di fondazione di pile di ponti o viadotti di grande luce. Si tratta dapprima del ruolo dei pozzi nei fenomeni di interazione terreno-struttura, descrivendo le peculiarità di tale tipo di fondazione, confrontandole con quelle delle fondazioni superficiali, e presentando un esame critico dei metodi maggiormente utilizzati nella pratica professionale. Successivamente, vengono illustrati i principali risultati di uno studio parametrico effettuato mediante analisi dinamiche non lineari svolte in condizioni tridimensionali con il metodo degli elementi finiti. Tali analisi hanno permesso di evidenziare il ruolo della plasticità dei terreni di fondazione nella prestazione sismica di tali sistemi e di individuare il campo di validità dei metodi oggi a disposizione. Un capitolo intermedio è dedicato allo studio dell'influenza delle proprietà inerziali dei pozzi sulla prestazione sismica e sulle azioni trasmesse in fondazione, individuando le condizioni per le quali tali proprietà non possono essere trascurate. Il capitolo finale è invece dedicato alla stima delle azioni statiche equivalenti da considerare nelle verifiche a carico limite dei pozzi di fondazione, utilizzando i risultati dello studio parametrico per correlare le azioni inerziali agenti in fondazione sia alle caratteristiche geometriche e meccaniche del pozzo e della pila, sia alle proprietà dell'*input* sismico.

# Gallerie in zona sismica

Emilio Bilotta

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italia;*

Stefania Fabozzi

*CNR-IGAG, Istituto di Geologia Ambientale e Geo-ingegneria, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, Italia*

## ABSTRACT

La valutazione degli incrementi di sollecitazione che insorgono nella struttura di rivestimento per effetto di un terremoto è un aspetto di rilievo nella progettazione di gallerie in zona sismica. Tali sollecitazioni sono dipendenti dalla rigidità relativa terreno-struttura, dalle condizioni di interfaccia, dallo stato tensio-deformativo iniziale del sottosuolo, dalla tipologia strutturale del rivestimento e, considerando lo sviluppo lineare della galleria, dalle caratteristiche geometriche dell'asse e dalla variabilità delle condizioni di sottosuolo lungo il tracciato. Nella pratica progettuale si ricorre per lo più ad approcci semplificati (analisi pseudo statiche o dinamiche semplificate), analizzando il comportamento in sezione trasversale separatamente da quello in direzione longitudinale, spesso senza modellare esplicitamente l'interazione dinamica tra galleria e terreno. L'influenza sugli incrementi di sollecitazione indotti dalle condizioni antecedenti il sisma e della eventuale natura segmentale del rivestimento, nonché dell'asincronismo del moto indotto dalla propagazione del fronte d'onda in direzione longitudinale, sono aspetti per lo più trascurati o considerati in via semplificata nella pratica

In questo lavoro sono descritti i risultati di analisi numeriche tridimensionali d'interazione dinamica che tengono conto di alcuni dei suddetti aspetti, altrimenti trascurati. Nella discussione di tali risultati viene evidenziata la necessità di condurre analisi dinamiche complete al fine di conseguire una più corretta modellazione del comportamento dinamico della galleria.

# **Alcune considerazioni sulla rivalutazione della sicurezza sismica delle dighe di materiali sciolti**

Giuseppe Lanzo

*Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Sapienza Università di Roma*

## **ABSTRACT**

La salvaguardia del patrimonio infrastrutturale esistente è un argomento di sempre maggiore attualità in diversi settori dell'ingegneria civile. Nel settore delle dighe esistenti un tema sempre più presente è quello della rivalutazione della sicurezza sismica delle dighe di materiali sciolti. Le motivazioni di questa rinnovata attenzione sono molteplici. Tra queste si ricorda la vetustà di gran parte delle opere, di età media superiore a 60 anni, le accresciute conoscenze sulla pericolosità sismica del territorio nazionale, la recente emanazione delle Norme Tecniche sulle Dighe (NTD14) nonché la possibilità di adottare procedure di analisi adeguate in relazione all'accresciuta disponibilità e potenzialità di mezzi di calcolo automatico e alla notevole versatilità di codici di calcolo capaci di modellare fenomeni anche complessi.

Nella prima parte di questo lavoro si richiamano sinteticamente alcuni elementi di novità delle NTD14 e i principali fattori che influenzano il comportamento delle dighe di materiali sciolti soggette ad azioni sismiche. La parte successiva è dedicata allo sviluppo di un database di segnali accelerometrici registrati sulle dighe in occasione di eventi sismici. L'elaborazione di questi dati, in termini di fattori di amplificazione di picco tra cresta e base diga, può rappresentare un valido ausilio come strumento di verifica dei risultati di analisi numeriche. Si discute poi l'influenza di alcuni parametri di input fondamentali da usare nelle analisi dinamiche. Particolare attenzione, con riferimento ai materiali del nucleo di dighe zonate, è dedicata alla rigidità del terreno a bassi livelli deformativi e alla variazione delle caratteristiche di rigidità e smorzamento con la deformazione di taglio, su cui le indicazioni di letteratura sono estremamente limitate. Infine si illustra il caso di studio relativo alla rivalutazione della sicurezza sismica della diga di Montedoglio sul Fiume Tevere mediante analisi dinamiche semplificate e complete.