

# **FERRARA E I TERREMOTI VENT'ANNI DOPO**

***Prevenzione e Riduzione del rischio sismico***

COSTRUIRE E RICOSTRUIRE IN  
AREE SISMICHE

L'importanza del modello geologico e geotecnico

**ORGANIZZAZIONE DEL CONVEGNO A CURA DI:**  
**Consulta Provinciale Geologi Ferraresi**  
con il patrocinio di



**FERRARA E I TERREMOTI**  
Consulta Provinciale Geologi Ferrara  
Ferrara; april, 12, 2013

**Ing. Marco Franceschini**  
**Dott. Geol. Mariantonietta Sileo**

## **ARGOMENTI:**

**PECULIARITÀ DELLA PROGETTAZIONE  
GEOTECNICA (SIMICA E NON)**

**Franceschini**

## **Peculiarità della geotecnica rispetto ad altri settori**

**Si occupa di un materiale – terreno - le cui  
proprietà necessitano di essere misurate di volta  
in volta anziché essere specificate o addirittura  
prescritte (calcestruzzo e acciaio)**

**NECESSITA  
DI**

**Sperimentazione in laboratorio e in situ per la  
caratterizzazione fisico meccanica del volume di  
terreno con cui l'opera interagisce  
(volume significativo).**

La **caratterizzazione geotecnica del sottosuolo**  
consiste nell'individuazione  
almeno dei **seguenti fattori:**

- A. Costituzione del sottosuolo – natura del terreno e stratificazioni**
- B. Regime delle acque sotterranee**
- C. Proprietà fisiche dei terreni**
- D. Proprietà idrauliche dei terreni (permabilità)**
- E. Proprietà meccaniche dei terreni (resistenza e rigidità)**
- F. Proprietà dinamiche in campo sismico dei terreni**

...pertanto nel progetto di un'opera geotecnica va definita la:  
**programmazione di una campagna di indagini**

**La campagna varia di volta in volta e deve essere adeguata:**

- **Alle dimensioni e all'importanza dell'opera**
- **Al livello di progettazione (preliminare, definitivo, esecutivo)**
- **Alla natura del sottosuolo**
- **Al tipo di carichi / sollecitazioni**
- **Al tipo di fondazione prevista o prevedibile**
- **Al problema geotecnico che si analizza**
- **Alle modalità e al tipo di calcolo che si intende effettuare**
- **Alle particolari condizioni al contorno che bisogna valutare**
- **Al tipo di modello costitutivo cui si farà riferimento**
- **... molto altro...**

**Non si fanno  
indagini prima  
di sapere che  
tipo di  
progetto fare!!**

## **Requisiti di un progetto geotecnico**

- i. Adeguati margini di sicurezza nel riguardo del collasso**
- ii. Cedimenti (assoluti e differenziali) compatibili con il corretto funzionamento della struttura in elevazione**
- iii. Stato di sforzo nella struttura compatibili con la resistenza dei materiali da costruzione**
- iv. Soluzione realizzabile in modo sicuro e con le tecnologie più corrette**
- v. Analisi completa e non “convenzionale” nei confronti delle azioni sismiche**

**La geotecnica tratta questi aspetti, ovvero dalla interpretazione delle prove al progetto delle fondazioni**



**ATTUALMENTE**

**Alla progettazione geotecnica è stata data la giusta e corretta rilevanza con l'entrata in vigore delle NTC2008 che allinea – come importanza - tale materia con le altre tipiche delle costruzioni.**

***Il tutto tenendo conto della particolarità di tale disciplina***

La particolarità:

infa  
con  
coeff  
qu  
mod  
un



brassi  
e dei  
anti" in  
tto)  
tezza è  
duo.

a

comunque non c'

# FERRARA E I TERREMOTI 20 ANNI DOPO

Consulta Provinciale Geologi Ferrara

Ferrara; april, 12, 2013

Ing. Marco Franceschini

**interpretation 60%**

**information 40%**

We know what it takes to be a Tiger.  
According to our landmark research on leaders in 35 industries, high performers consistently excel at translating information into business value, particularly through the strategic use of IT. For an in-depth look at our study of and experience with high performers, visit [accenture.com/research](http://accenture.com/research)

**accenture**  
High performance. Delivered.

• Consulting • Technology • Outsourcing

Source : Life Style Magazine - EDGE



ne,  
o un  
utori

e

## **LE DIFFICOLTÀ DELLA PROGETTAZIONE GEOTECNICA**

1. **Manca di apprezzamento e di considerazione dal parte del Cliente e del project manager**
2. **Mai sufficiente budget per le prove necessarie (considerate un costo e non una risorsa per potere ottimizzare)**
3. **Non coinvolgimento nella pianificazione delle indagini, svolte spesso senza consultare il progettista geotecnico.**
4. **Interpretazioni delle prove fatte da altri, cattive o non adeguate al problema**
5. **Non sufficiente tempo per indagini, prove di laboratorio, analisi di calcolo**
6. **Progetto della fondazione fatto quando ancora non si conosce il progetto della sovrastruttura, per non parlare dei carichi**
7. **le Amministrazioni Pubbliche affidano direttamente le indagini prima ancora di scegliere il progettista, oppure formulano bandi con costi dell'indagine inclusi in quelli della progettazione.**

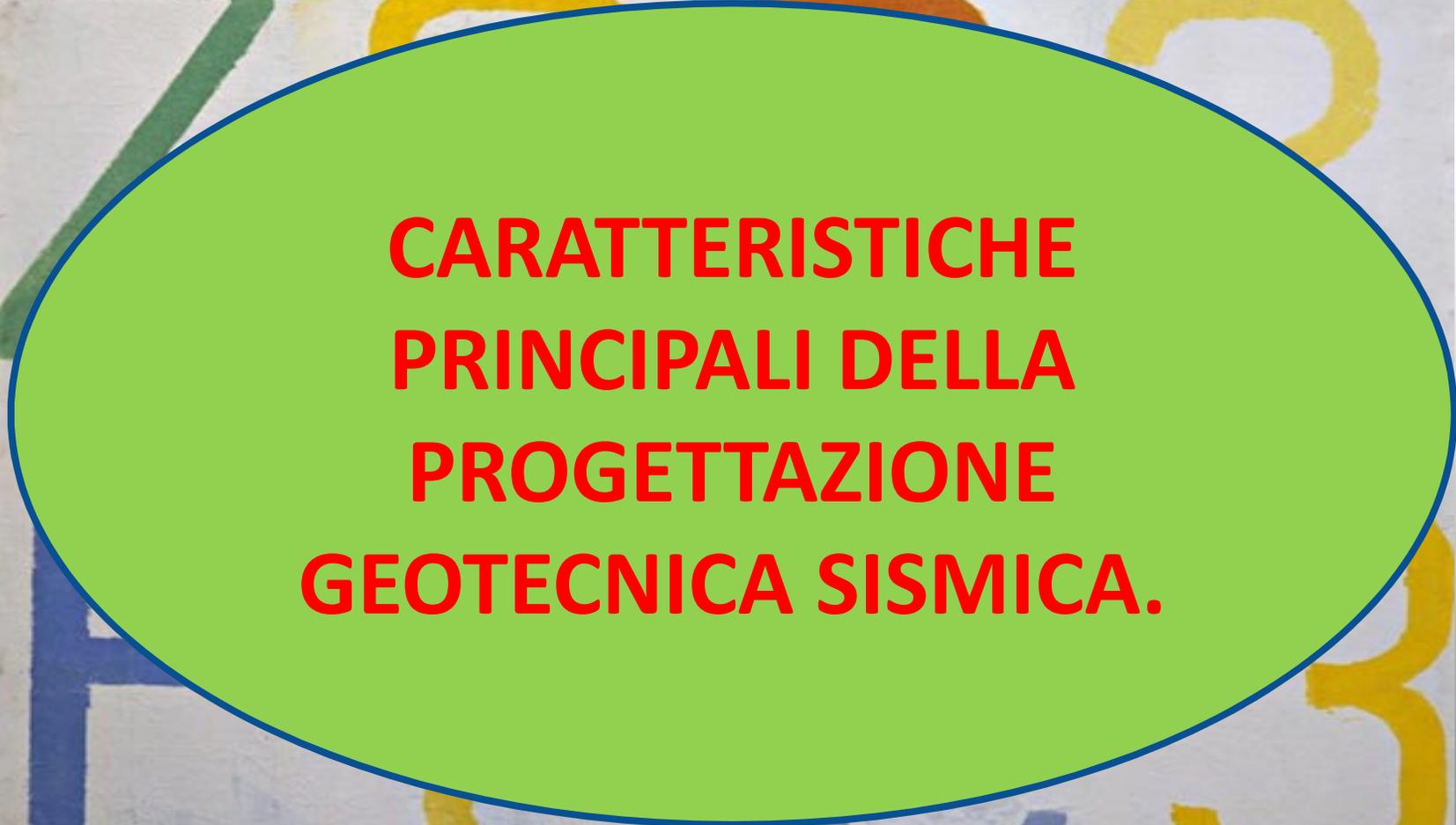
**Una nuova cultura e coscienza tecnica deve rimuovere questa prassi.**

Inoltre, **nell'ambito di un progetto** è importante una stretta collaborazione tra progettista geotecnico e strutturale affinché il progetto possa avere una sua corretta evoluzione.

Una altra  
difficoltà  
spesso non  
capita dal  
Cliente!

## Communication Problem





**CARATTERISTICHE  
PRINCIPALI DELLA  
PROGETTAZIONE  
GEOTECNICA SISMICA.**

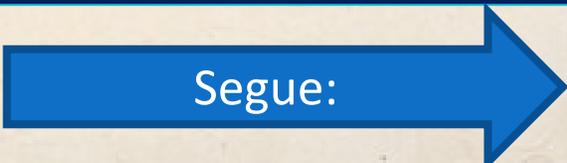
Un buon progetto deve **INNANZI TUTTO** avere una corretta valutazione rispetto alle **azioni di natura statica**, intese come quelle gravitazionali ed eoliche



**AZIONI  
SISMICHE**

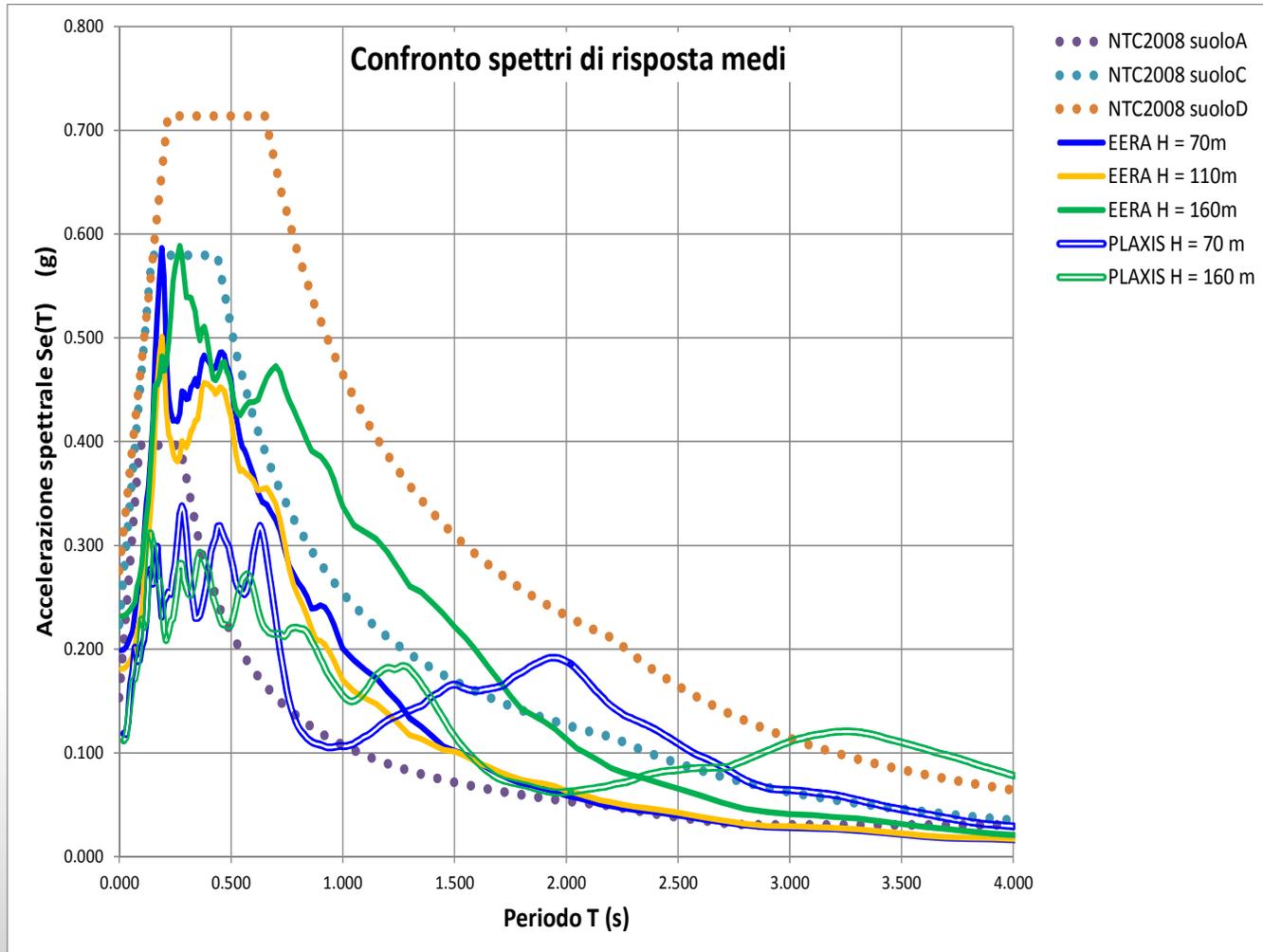
Tra i temi base, **ma non assolutamente unici**, su cui si basa un corretto **progetto geotecnico alle azioni sismiche** si evidenziano i seguenti **quattro**:

1. Progettare una struttura in elevazione il cui periodo sia lontano dai periodi in cui il terreno ha maggiore amplificazione sismica



Segue:

**Sant'Agostino – Stabilimento ceramiche. Analisi degli effetti di sito**



Vi sono periodi di vibrazione della struttura che in un progetto sono da evitare

## 2. Collegamenti tra le fondazioni

Il collegamento tra le fondazioni è buona prassi in campo sismico ma **non è vero** che in campo sismico è OBBLIGATORIO progettare collegando i plinti tra loro con cordoli o travi, **è una soluzione semplificata che si può evitare.**

### 7.2.5.1 Collegamenti orizzontali tra fondazioni

Si deve tenere conto della presenza di spostamenti relativi del terreno di fondazione sul piano orizzontale, calcolati come specificato nel § 3.2.5.2, e dei possibili effetti da essi indotti nella sovrastruttura.

Il requisito si ritiene soddisfatto se le strutture di fondazione sono collegate tra loro da un reticolo di travi, o da una piastra dimensionata in modo adeguato, in grado di assorbire le forze assiali conseguenti. In assenza di valutazioni più accurate, si possono conservativamente assumere le seguenti azioni assiali:

- $\pm 0,3 N_{sd} a_{max} / g$  per il profilo stratigrafico di tipo B
- $\pm 0,4 N_{sd} a_{max} / g$  per il profilo stratigrafico di tipo C
- $\pm 0,6 N_{sd} a_{max} / g$  per il profilo stratigrafico di tipo D

dove  $N_{sd}$  è il valore medio delle forze verticali agenti sugli elementi collegati, e  $a_{max}$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito.

**Se non è possibile o se non si possono fare delle analisi specifiche.**



### **3. Progetto di fondazioni superficiali**

**Il geotecnico deve tenere conto di questi aspetti fondamentali:**

- 1. La capacità portante in terreni sabbiosi si riduce molto rispetto al caso statico (le norme danno indicazioni non corrette)**
- 2. In terreni argillosi non si ha riduzione di capacità portante**
- 3. Liquefazione**
- 4. Valutazione dei cedimenti post sisma**

**Molto importante!!**

## 4. Fondazioni profonde

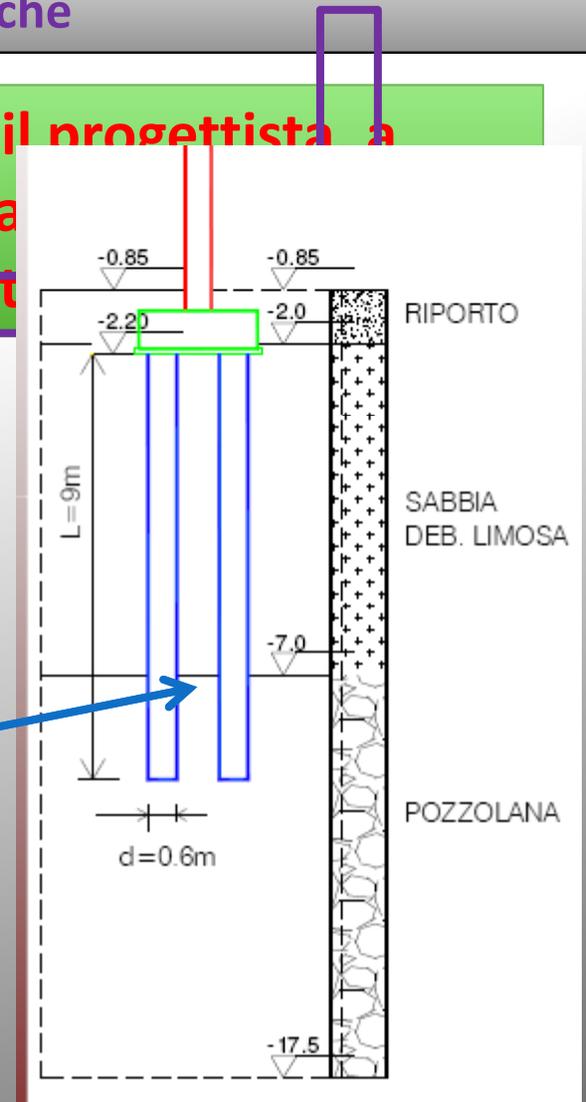
Attenzione alle proposte commerciali e non tecniche

Il primo problema è tecnologico. Bisogna che il progettista, a seconda del terreno, scelga una tipologia di palo con controindicazioni in campo sismico (e anche st

Secondo: il sisma viene dal basso; prima di andare sulla struttura sollecita il palo e se vi sono differenze di rigidità di terreno, si instaurano sollecitazioni che tendono a tagliare il palo

Momento cinematico

Armare sempre il palo lungo tutta la lunghezza!!



# OPERE ESISTENTI

ESEMPI DI RINFORZI E CONSOLIDAMENTI



**L'adeguamento sismico di una opera esistente danneggiata o meno deve sempre partire dalla analisi della fondazione e se necessario dal suo rinforzo.**

**Un rinforzo di una qualsiasi opera non può dirsi, in nessun caso, completo se la fondazione non viene analizzata.**

**Questo concetto vale anche se il rinforzo è necessario per un danno che non deriva dal sisma**

In queste zone (Ferrara) sono tipici cedimenti per suolo compressibile (soft soil) oppure per ritiro e rigonfiamento.

## TIPOLOGIE GENERALI DI RINFORZO

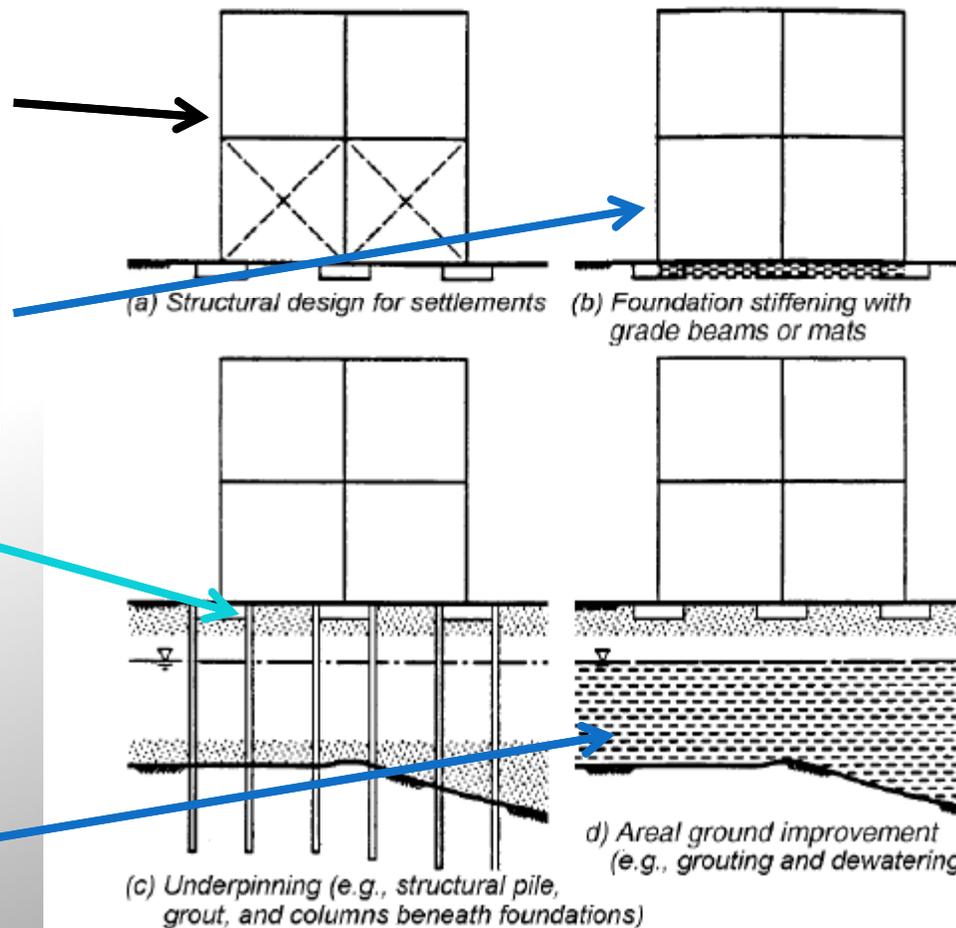
Si prendono in considerazione casi di rinforzi dei più comuni tipi di fondazioni

Rinforzo strutturale sulla  
elevazione

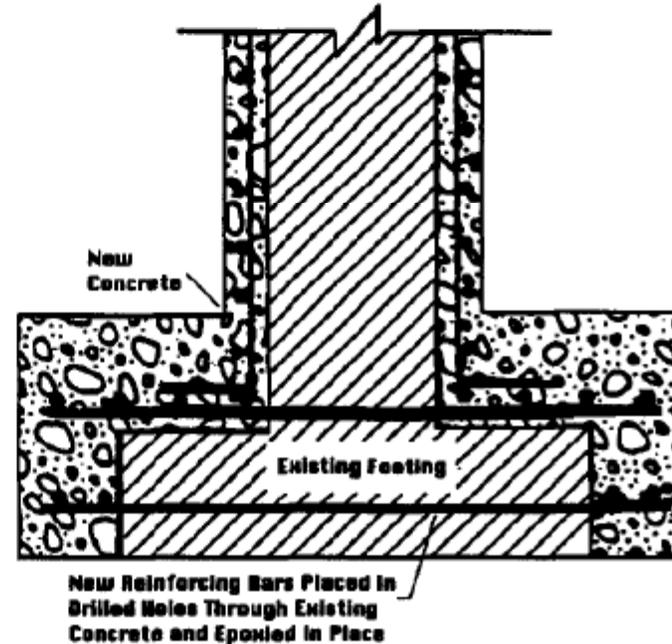
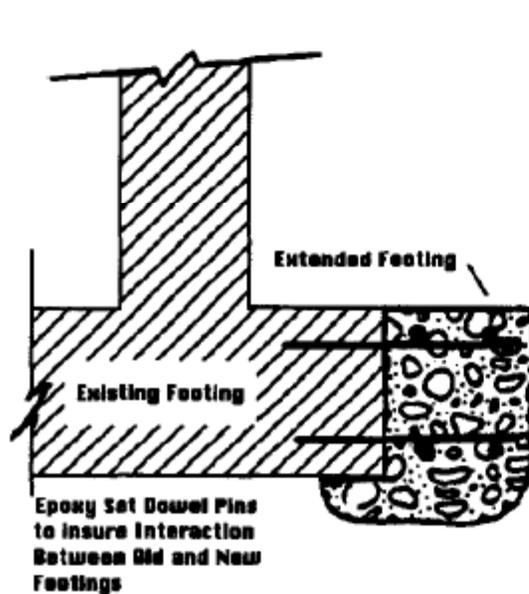
Rinforzo fondazione con  
platea o allargamento  
travi

Rinforzo fondazione con  
pali

Rinforzo fondazione  
bonifica e rinforzo  
terreno



**FONDAZIONI SUPERFICIALI– rinforzo con allargamento della base di impronta**



# FERRARA E I TERREMOTI 20 ANNI DOPO

Consulta Provinciale Geologi Ferrara

Ferrara; april, 12, 2013

Ing. Marco Franceschini

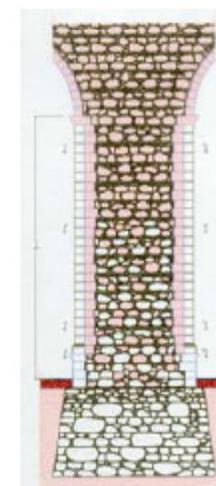


figura 8.4: sottomurazioni e soletta portante di collegamento con chiavi e tiranti

**Esempio della cattedrale di Noto  
(Catania)**



Figura 61 – Miglioramento delle fondazioni della Cattedrale di Noto: incremento della profondità del piano di posa delle fondazioni di un pilastro della navata centrale.



a)

b)

Figura 62 – Miglioramento delle fondazioni della Cattedrale di Noto: a) Demolizione di un pilastro lesionato; b) schema del nuovo pilastro con le relative fondazioni

**FONDAZIONI  
SUPERFICIALI –  
rinforzo con PALI**

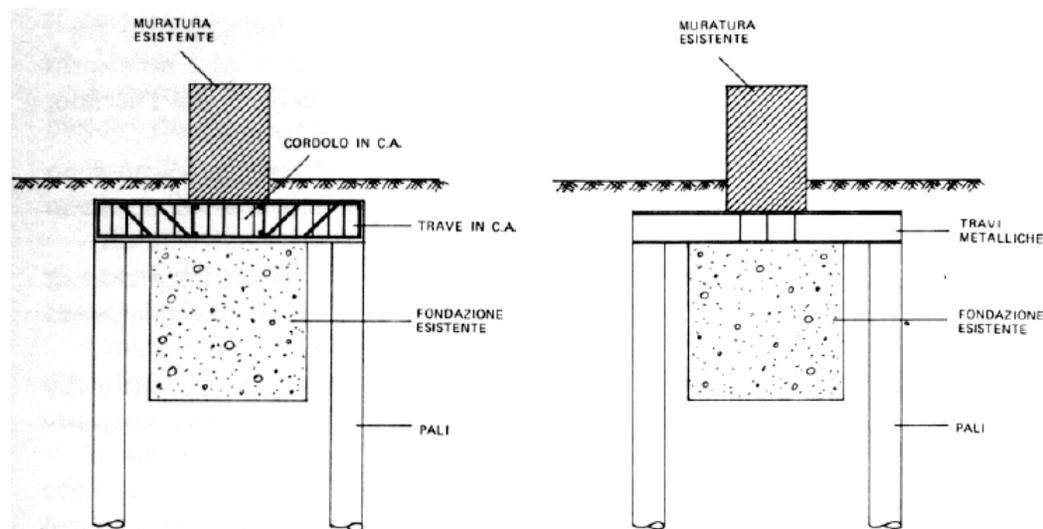
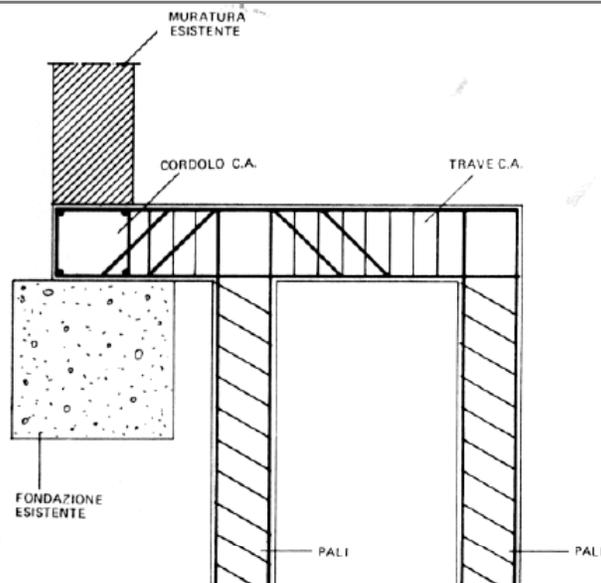
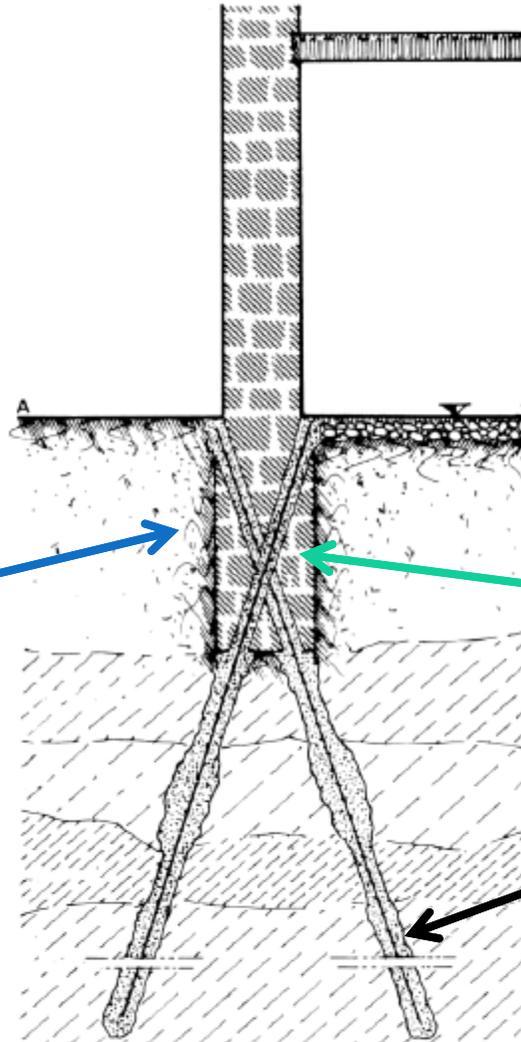


figura 9.1: schemi esecutivi di plinti su pali centrati ed eccentrici

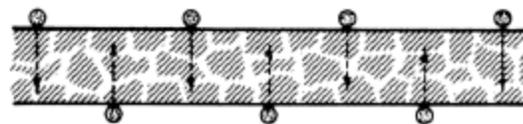
**FONDAZIONI  
SUPERFICIALI –  
rinforzo con PALI**

Tipica  
fondazione in  
muratura

a) VERTICAL CROSS-SECTION



b) HORIZONTAL CROSS-SECTION A-A



**Soluzione molto  
in uso in tempi  
passati ma  
presenta molte  
controindicazioni**

**Crisi muratura**

**Pali inclinati non  
corretti per il  
sisma (cenni  
anche dopo)**

# FERRARA E I TERREMOTI 20 ANNI DOPO

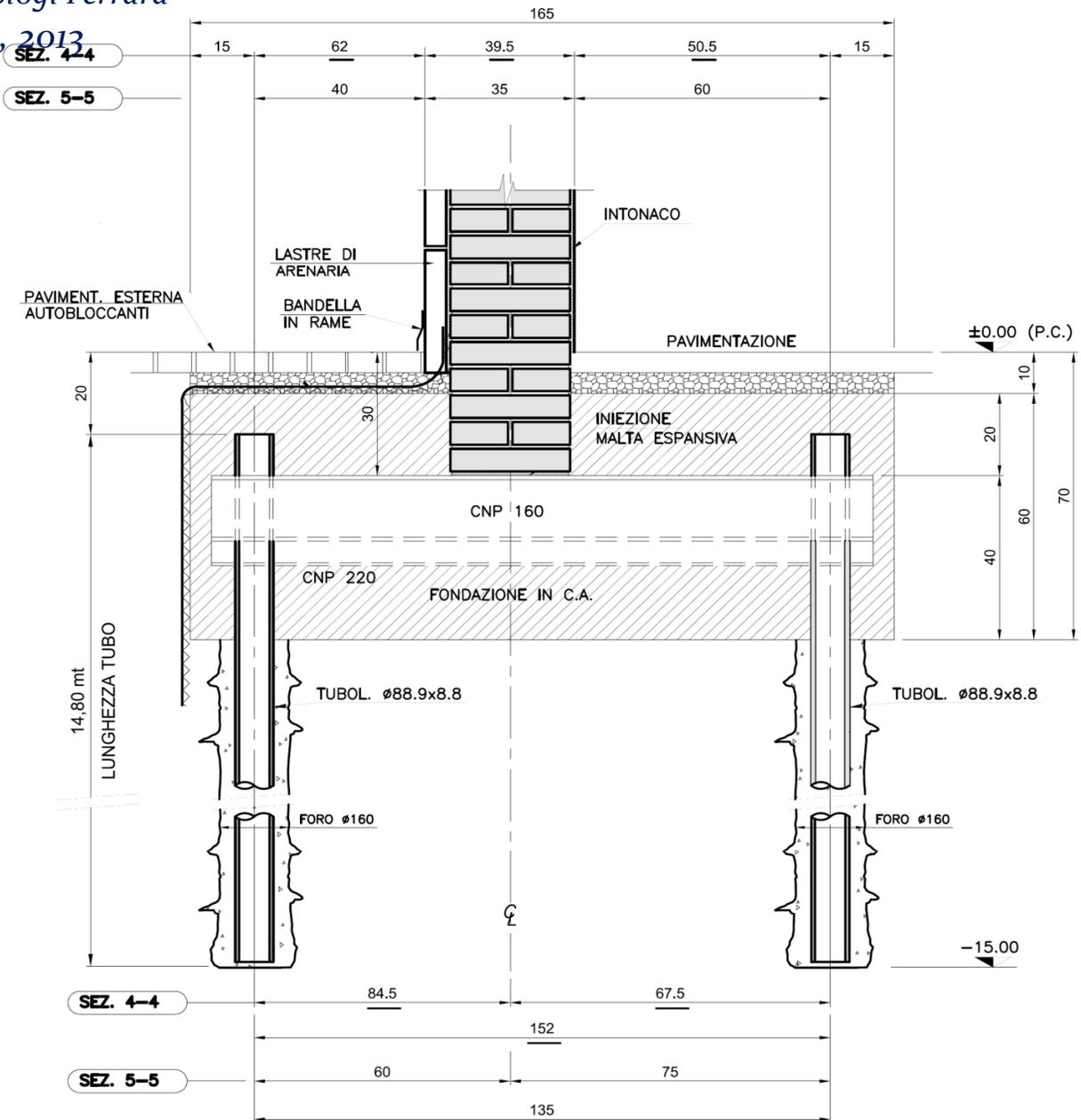
Consulta Provinciale Geologi Ferrara

Ferrara; april, 12, 2013

Ing. Marco Franceschini

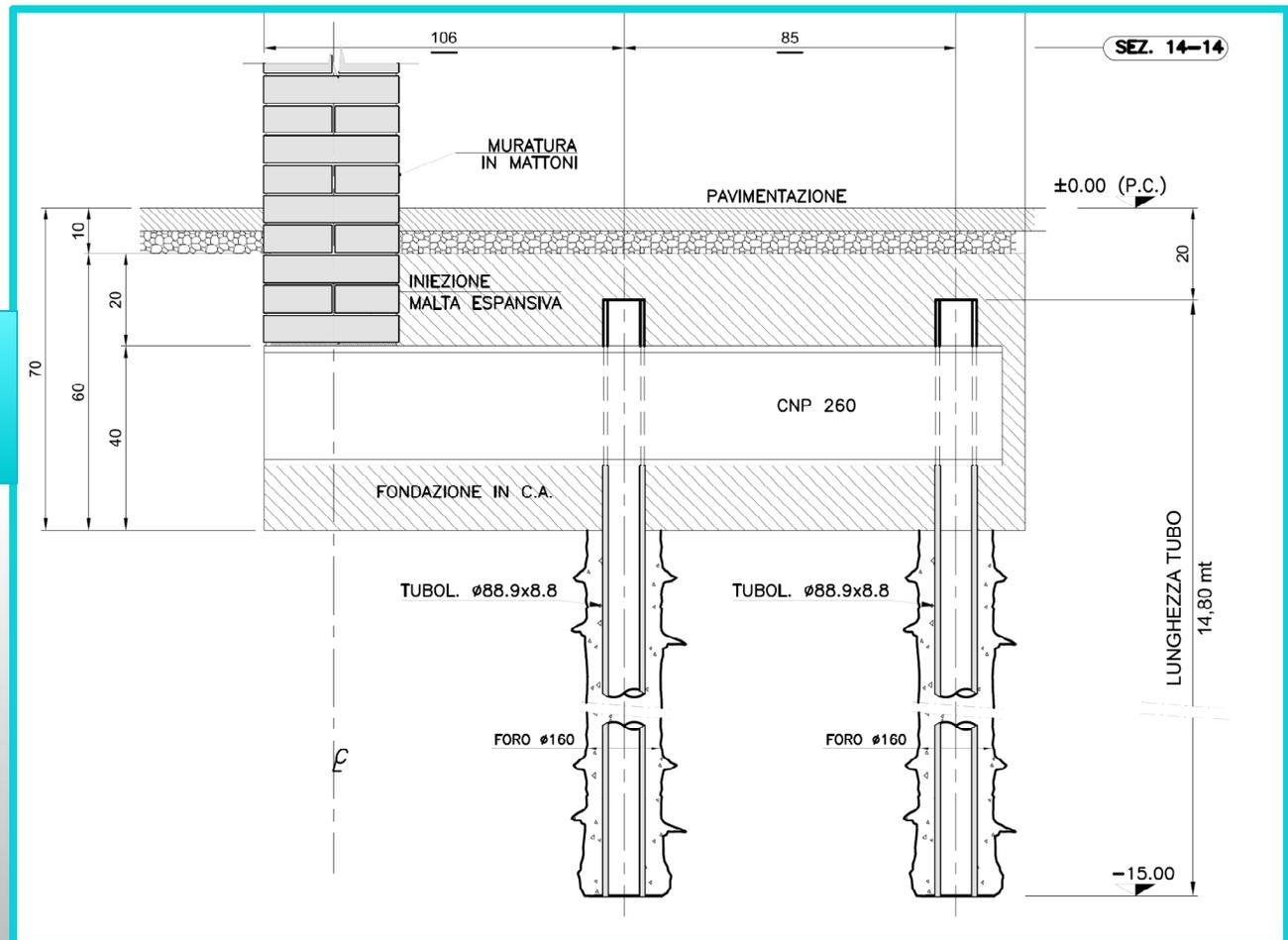
**FONDAZIONI  
SUPERFICIALI—  
rinforzo con PALI con  
allargamento della  
base di impronta**

**Intervento sia  
dentro che fuori il  
locale**

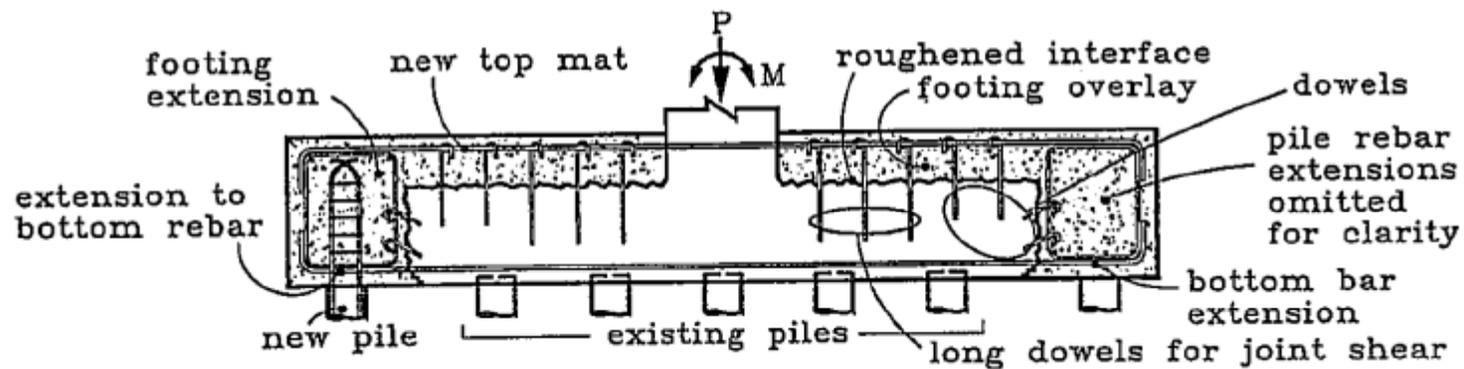


**FONDAZIONI SUPERFICIALI– rinforzo con PALI con allargamento della base di impronta**

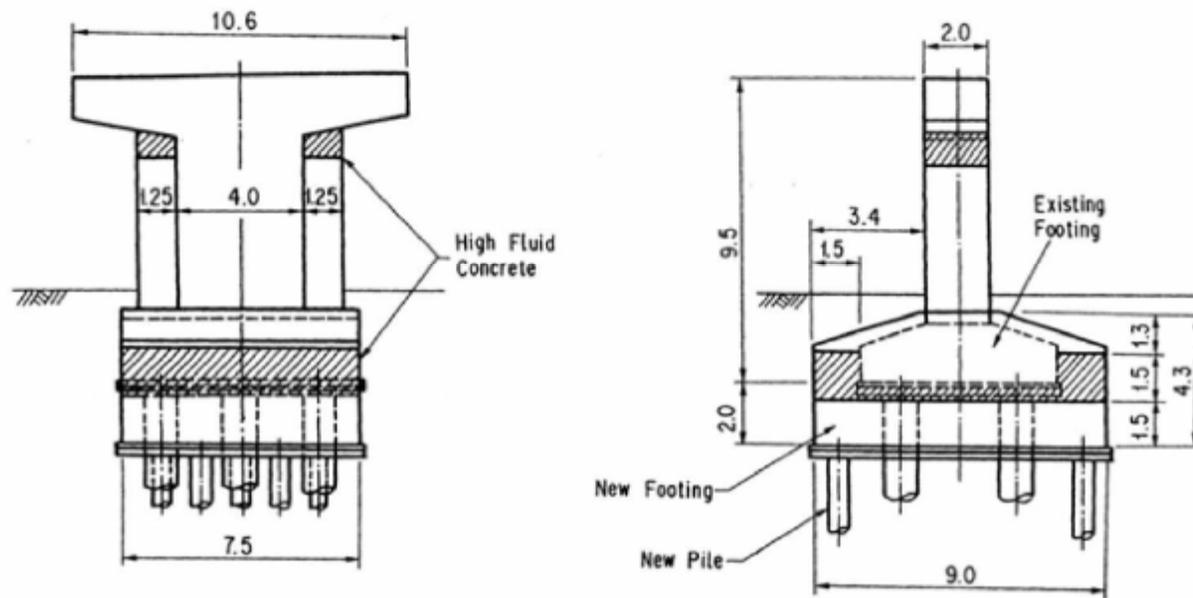
Intervento solo fuori il locale



**FONDAZIONI PROFONDE – rinforzo con PALI con allargamento della base di impronta**

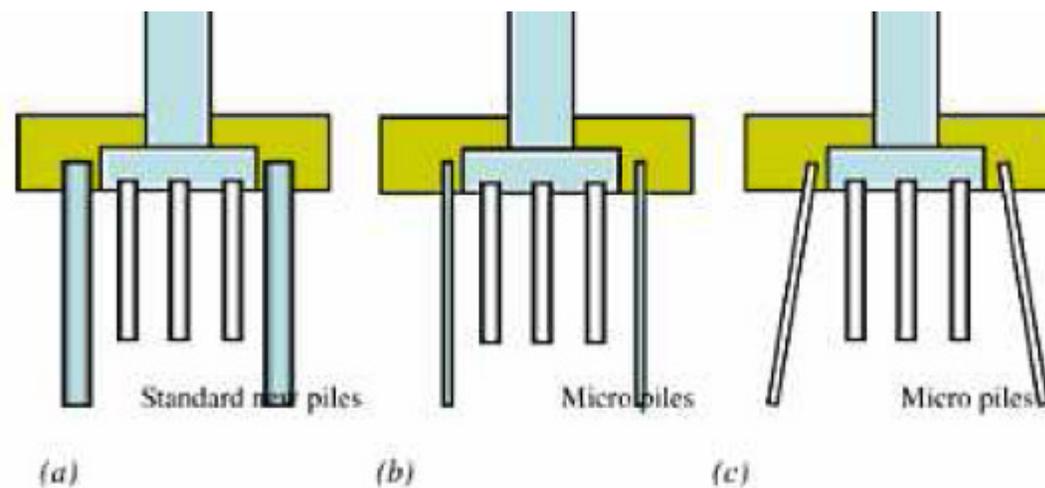


**FONDAZIONI PROFONDE – rinforzo con PALI con allargamento della base di impronta**



**ESEMPIO: pila di un ponte o plinto di un capannone.**

**FONDAZIONI PROFONDE – rinforzo con PALI con allargamento della base di impronta**



**Tre soluzioni di rinforzo: pali di grosso diametro, micropali, micropali inclinati**

**Tutti i rinforzi con i pali hanno pro e contro:**

pali di medio-grande diametro: difficoltà operative su opere esistenti,

Micropali, se mai muniti di valvole per aumentare la capacità portante: se fatti bene risolvono molti problemi, se fatti male sono un problema in più da risolvere

***Micropali inclinati: sono poco efficienti in campo sismico, le stesse norme di cono di usarli con molta attenzione***

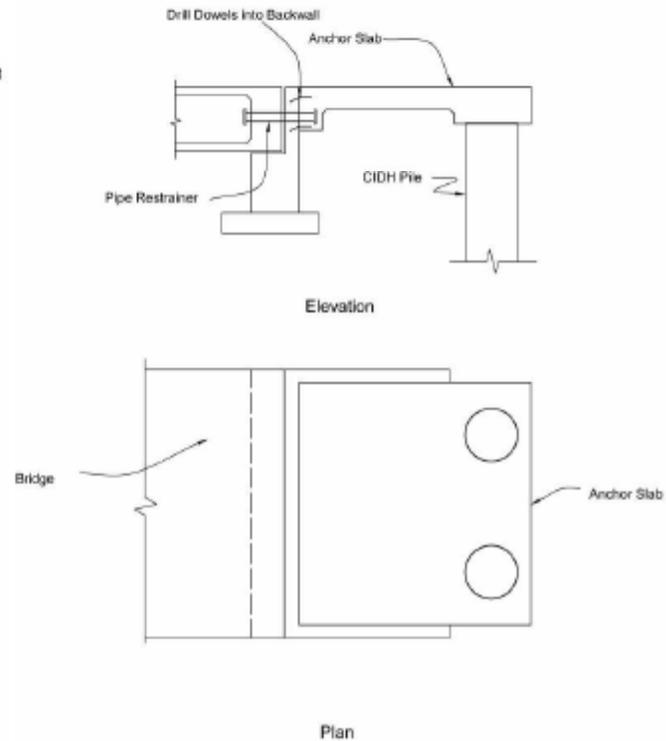
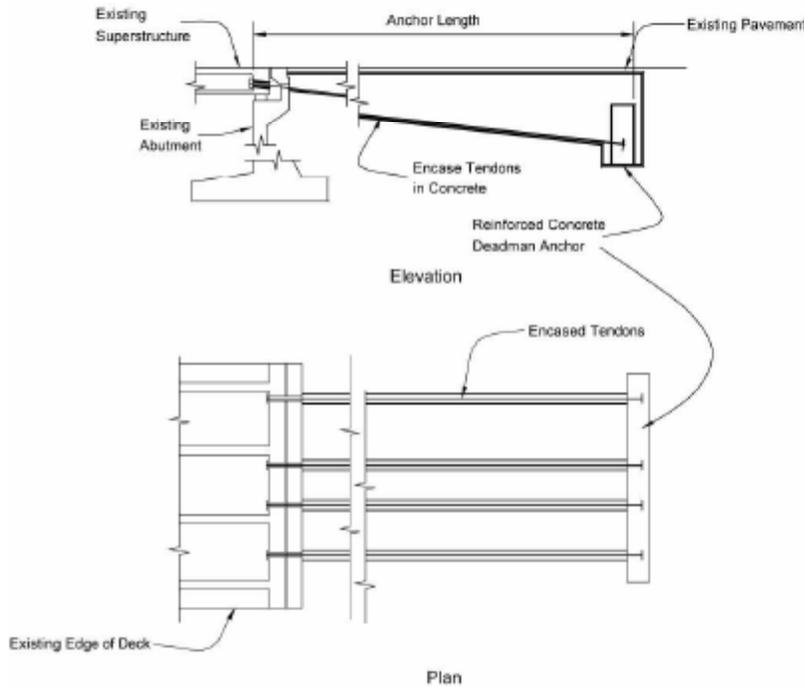


**Esistono altre tipologie di pali che possono essere utili ma diffidare sempre da tecnologie che non abbiano sotto solide basi di calcolo e non solo “pratiche aziendali”.**

**MURI SOSTEGNO– rinforzo nei confronti della spinta del terreno**

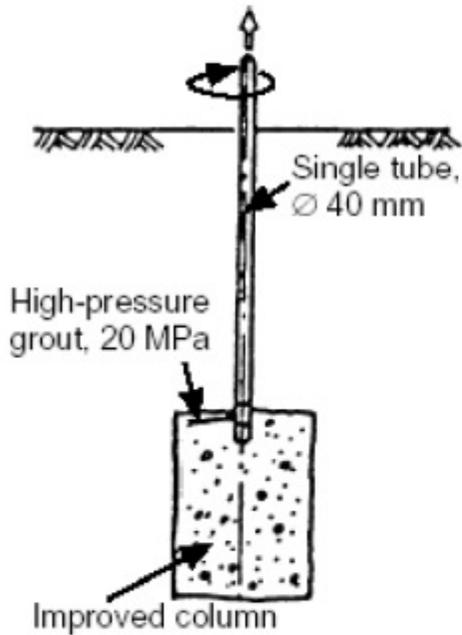
**Rinforzi con tiranti**

**Rinforzi con pali e soletta rigida**

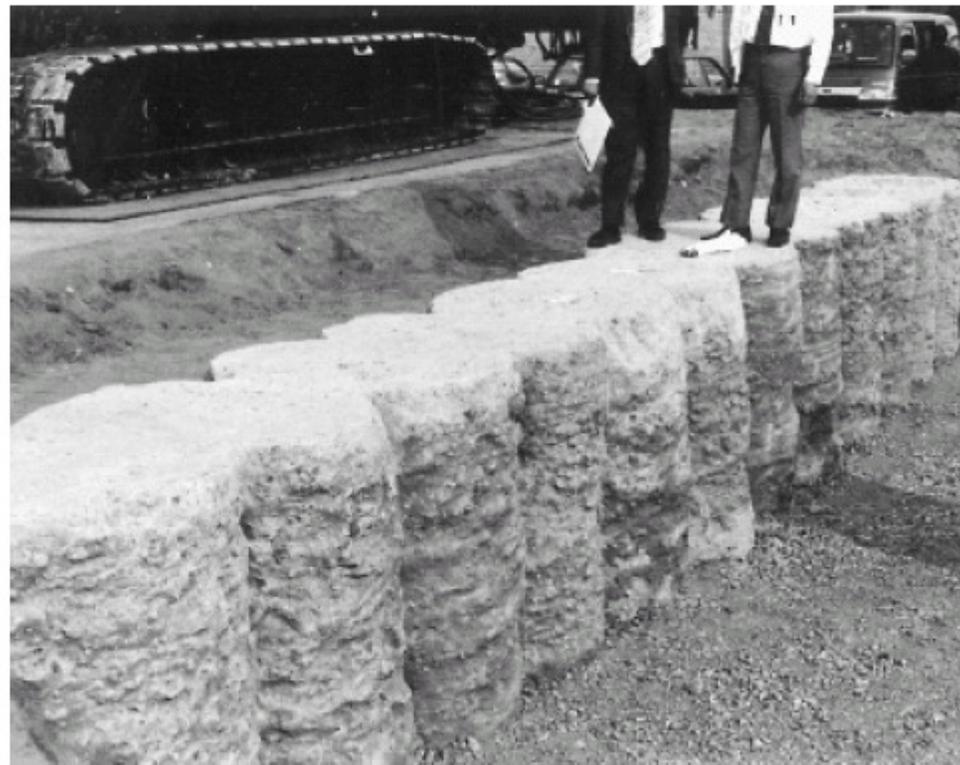


## CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI –

### Colonne jet e consolidamento del terreno



(a)



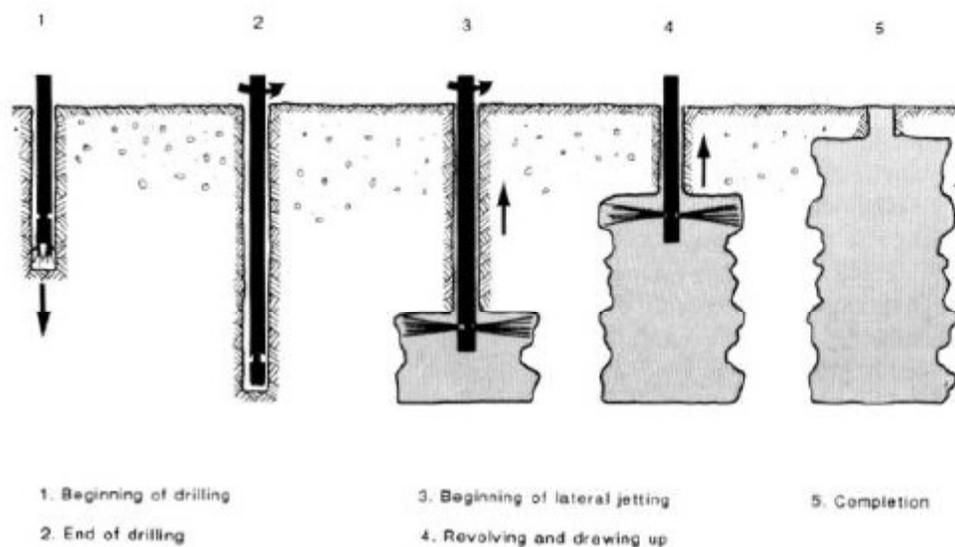


Figure 9.1 Sequence of jet-grouting operations.



figura 6.3: procedimento di iniezione e vista della testa con ugelli della sonda