

PALI DI FONDAZIONE E PALIFICATE

ing. Nunziante Squeglia

6. SPERIMENTAZIONE SUI PALI

SPERIMENTAZIONE

- SCOPI -

VERIFICA DELLA ESECUZIONE E DELLE PRESTAZIONI

- **Prove di carico di collaudo**
- **Carotaggio**
- **Diagrafia sonica**
- **Metodi radiometrici**
- **Prove ecometriche**
- **Prove di ammettenza meccanica**
- **Prove di carico dinamiche**

INFORMAZIONI PER IL PROGETTO DELLA PALIFICATA

- **Prove di carico di progetto (palo strumentato o non)**

DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE

Approcci disponibili:

- **Formule statiche**
- **Formule empiriche**
- **Formule dinamiche**
- **Determinazione diretta (n° 6)**

PROVE DI CARICO (NT, 2005)

Prove di collaudo: $Q_{\max} > 1.5 Q_{SLE}$

Prove di progetto: $Q_{\max} > 2.0 Q_{SLE}$

**Numero delle prove di collaudo: almeno 1%, minimo 2 prove
(come DM 10.3.1988)**

**Prove pilota su pali di grande diametro: se opportunamente
strumentati, palo con d minore, stessa lunghezza e tecnologia**

**“Ai fini della valutazione dell’integrità del palo possono
essere eseguite prove di carico dinamiche, da tarare
con quelle statiche di progetto, e controlli non
distruttivi.” (i.e. solo collaudo)**

COLLAUDO STATICO (NT, 2005)

“Il Collaudatore statico controllerà altresì che siano state messe in atto le prescrizioni progettuali e siano stati eseguiti i controlli sperimentali.”

e) esame del modello geologico e delle indagini geotecniche eseguite nelle fasi di progettazione e costruzione, e delle prove di carico sul terreno e sui pali, come prescritte nel presente testo;

f) controllo dei verbali e dei risultati delle prove di carico fatte eseguire dal Direttore dei lavori su componenti strutturali o sull'opera.”

PROVE DI CARICO

Considerazioni generali

Per le prove di progetto la tecnologia e le modalità esecutive devono essere le stesse previste per la costruzione

Le prove di progetto devono essere eseguite in un sito ben caratterizzato

Le prove di collaudo devono essere eseguite su pali scelti a caso dopo la costruzione

I pali battuti in terreni coesivi devono essere sottoposti a prova dopo la dissipazione delle Δu dovute alla battitura

PROVE DI CARICO

Applicazione del carico

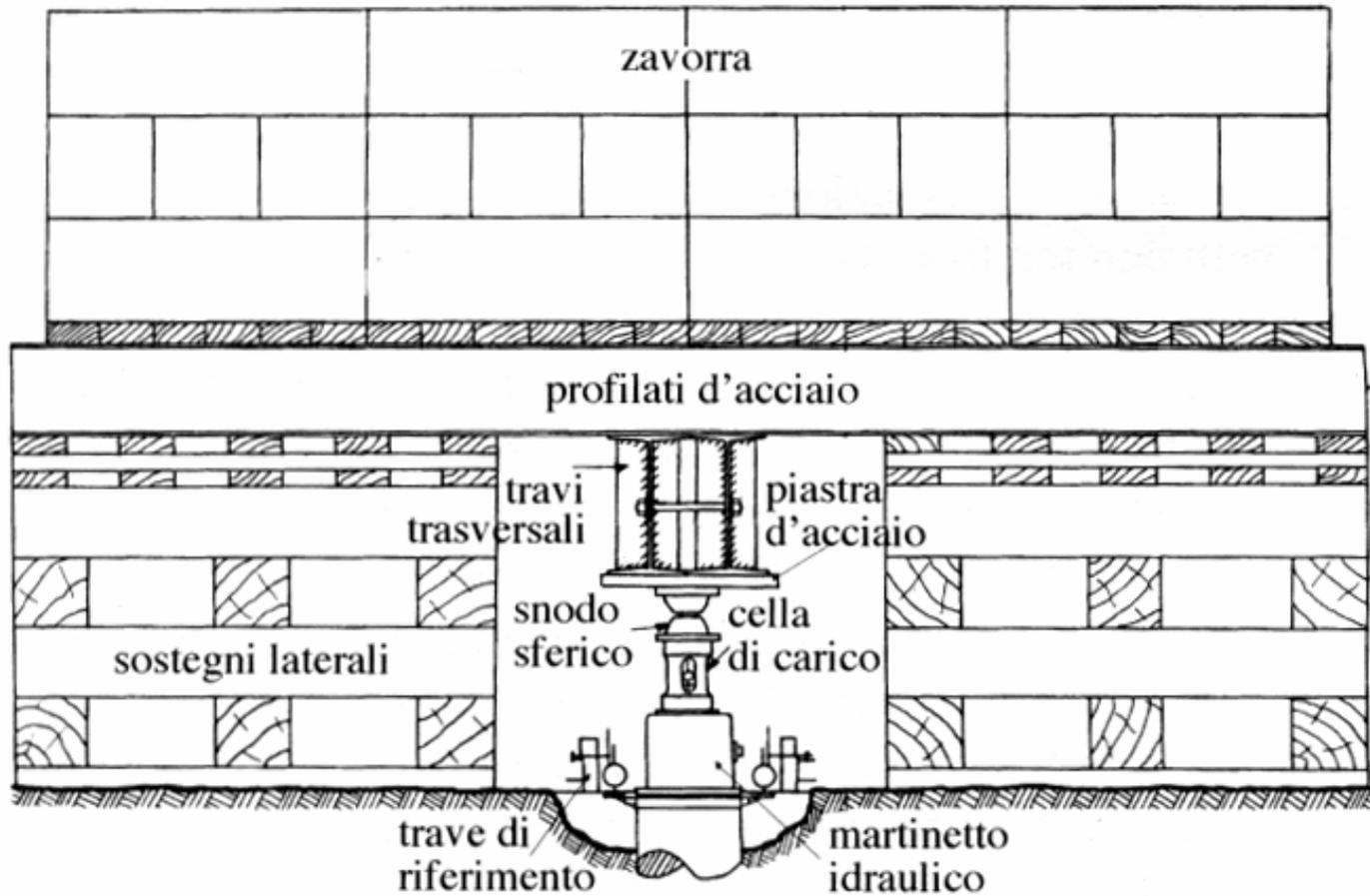
Martinetto idraulico

Carico massimo, corsa, compensazione del cedimento

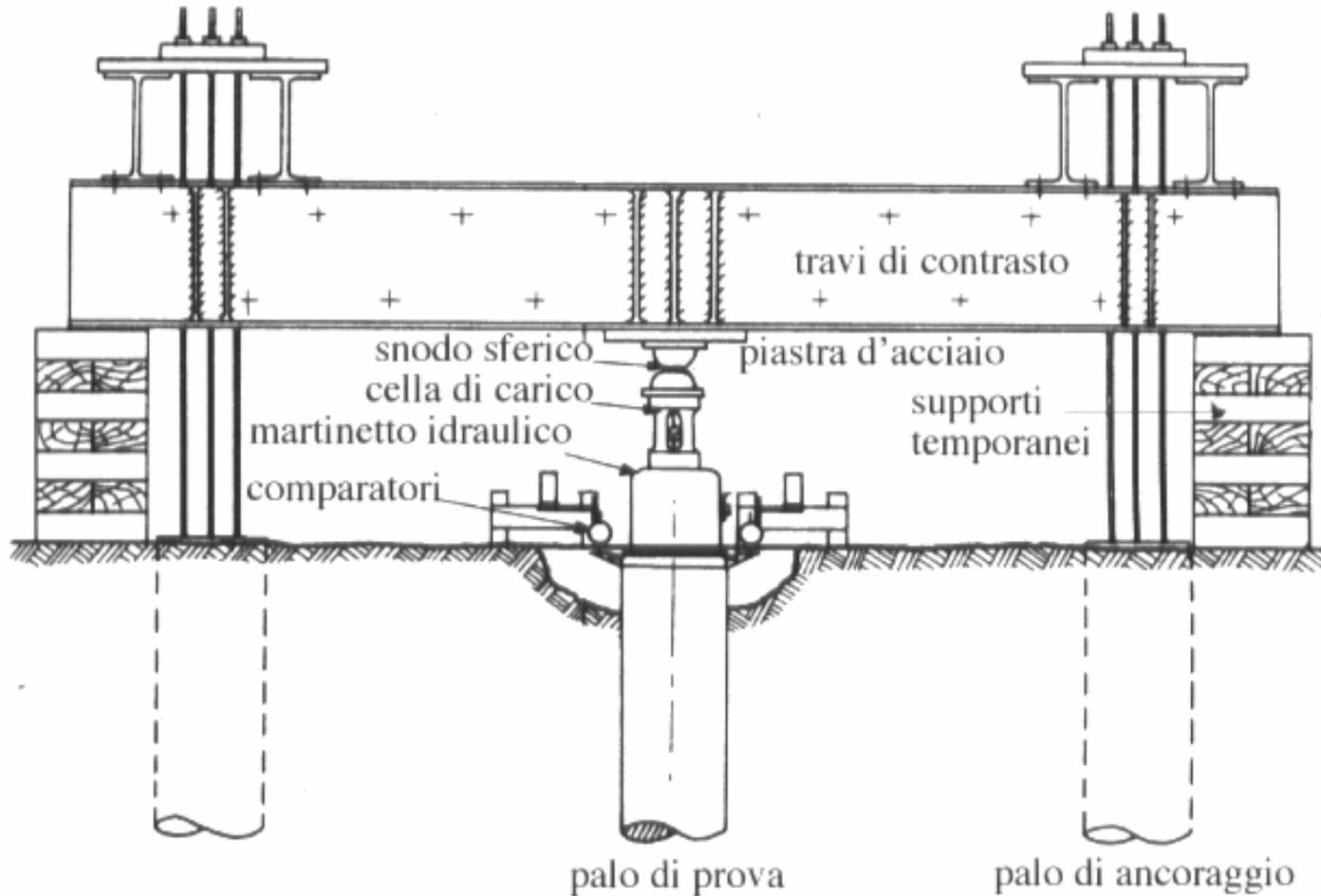
Contrasto

Zavorra (cls, piombo, ghisa), pali, ancoraggi

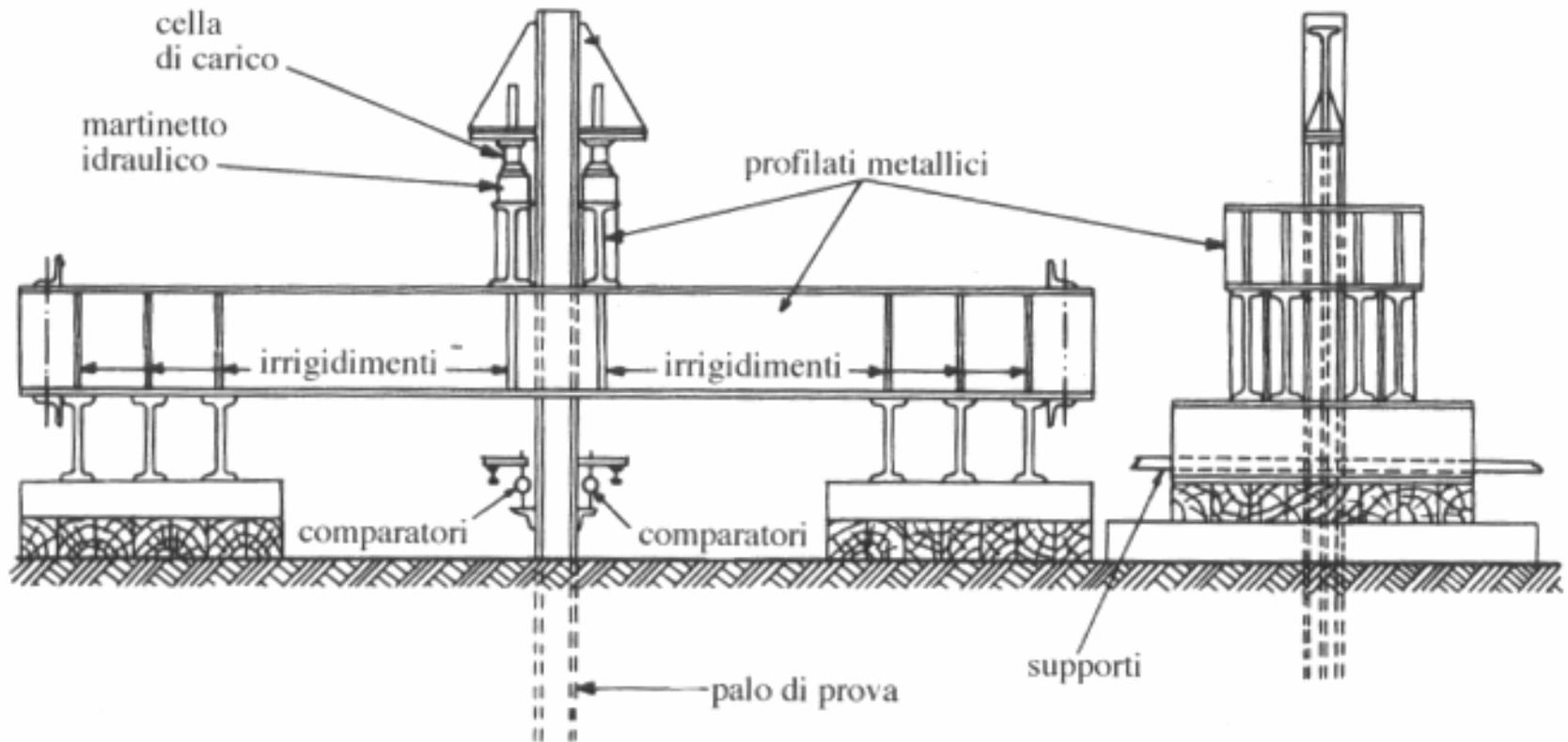
Schema di prova con zavorra



Schema di prova con pali di ancoraggio



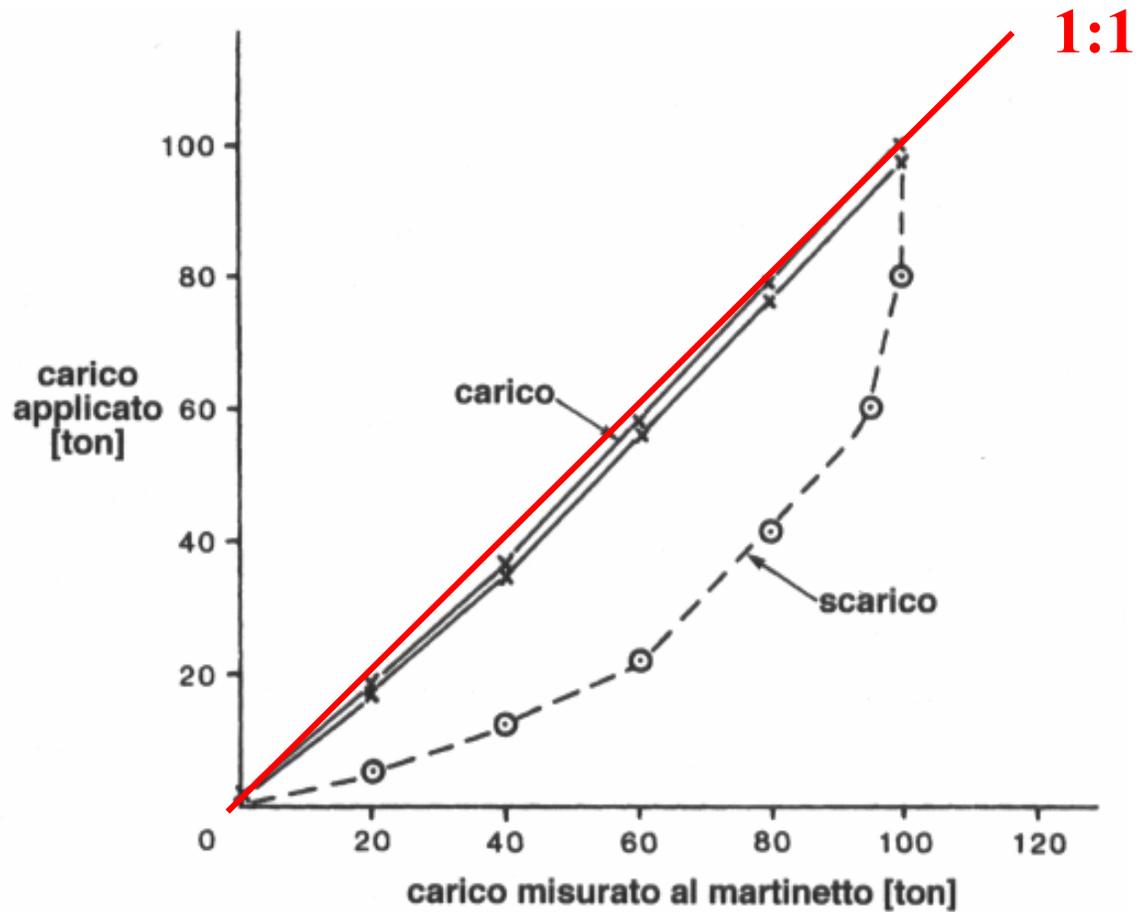
Schema di prova di carico a trazione



Misura del carico

- **Misura della pressione idraulica nel martinetto (!!!)**
- **Cella di carico idraulica (misura di pressione)**
- **Colonna di carico (misura di spostamento)**
- **Anello dinamometrico (misura di spostamento)**
- **Celle di carico a strain gauges o corda vibrante (misura di resistenza elettrica o frequenza)**

Misura del carico



Misura degli spostamenti della testa

Comparatori centesimali

Supporti infissi a distanza dal palo e dai supporti della zavorra ($> 3m$ e $3d$)

Escursioni termiche (osservazione di 12 h)

Corsa utile dei comparatori

Minimo tre comparatori

Livellazione ottica di precisione

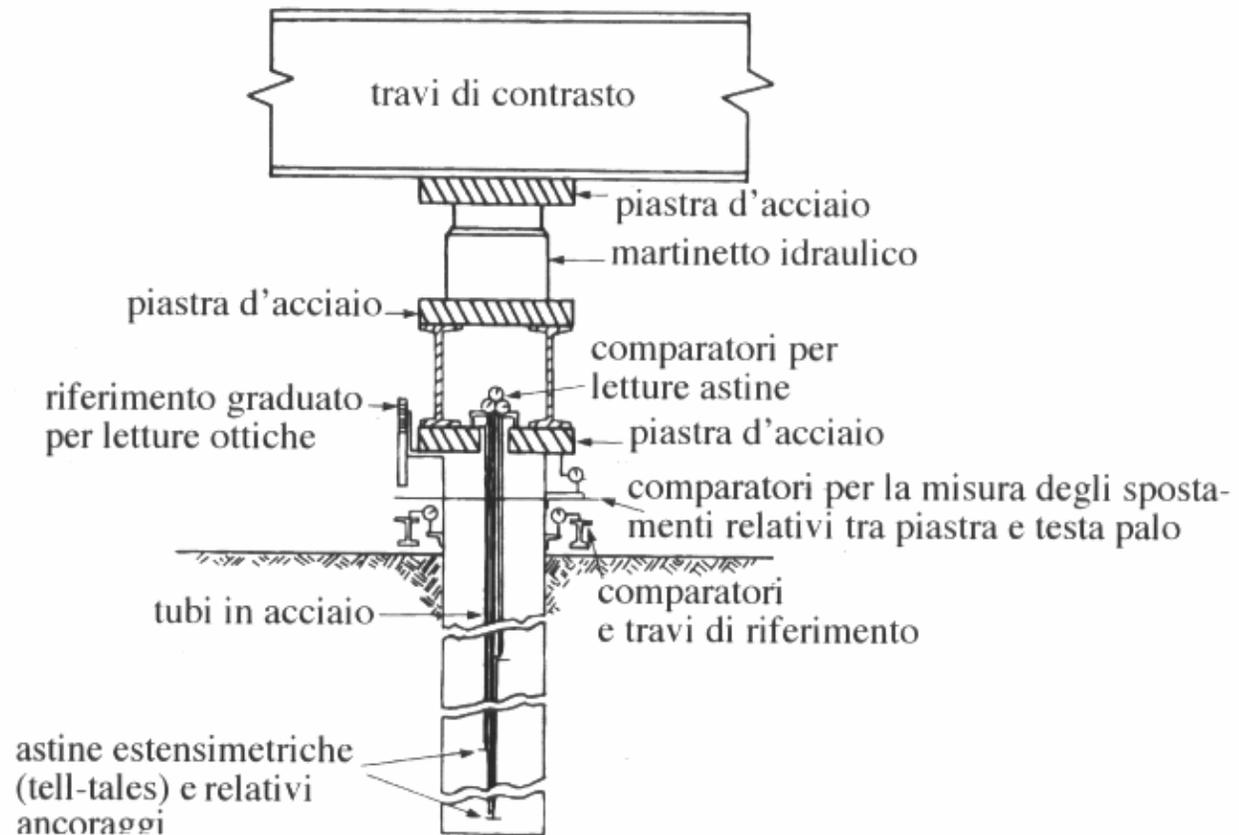
Minimo tre punti di misura

Livello topografico (0.01 mm, lamina a facce pian parallele)

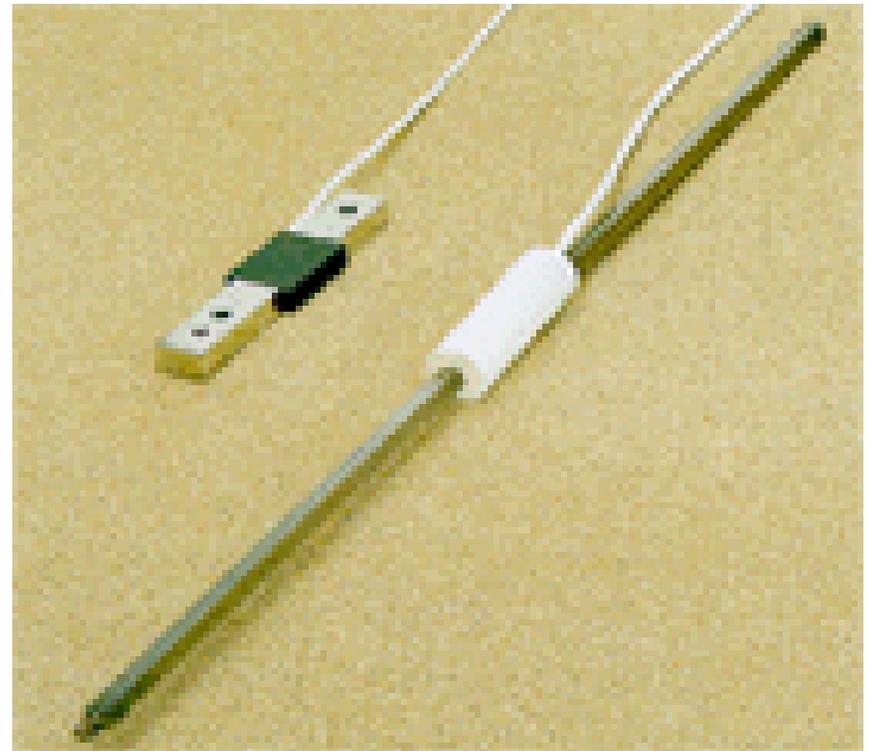
Punto “fisso” sufficientemente lontano

Misura lungo il fusto del palo

Astine estensimetriche

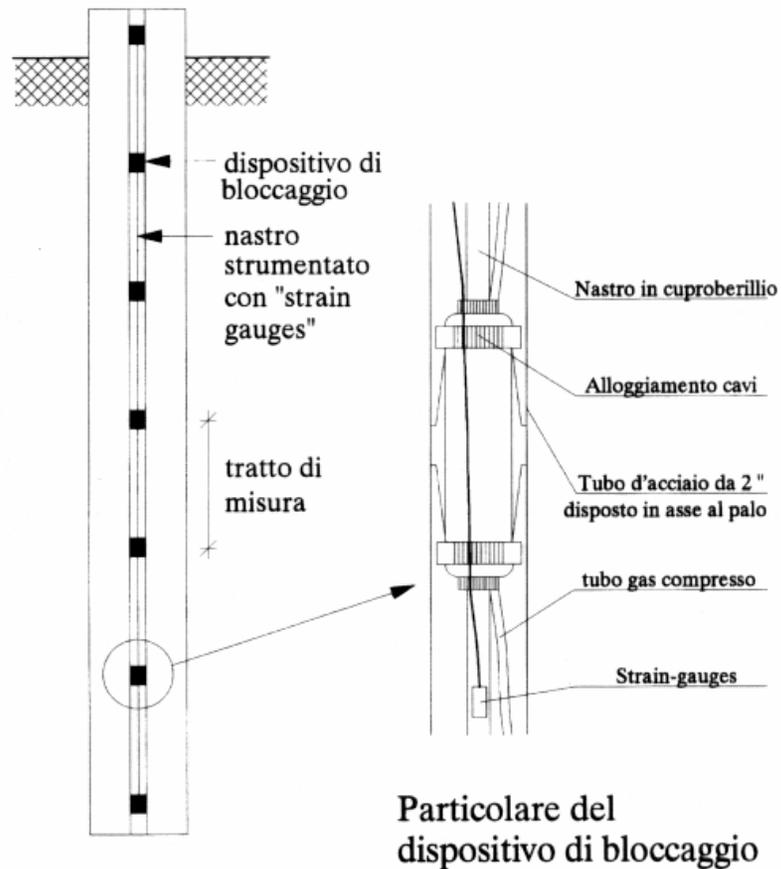


Misura lungo il fusto del palo *Barrette estensimetriche*



Misura lungo il fusto del palo

Multiestensimetro a nastro



Sintesi delle informazioni disponibili

- Geometria del palo e tecnica di esecuzione
- Carico applicato
- Spostamenti della testa del palo
- Spostamenti lungo il fusto (se strumentato)

PROVE DI CARICO

Informazioni ricavabili dalla prova

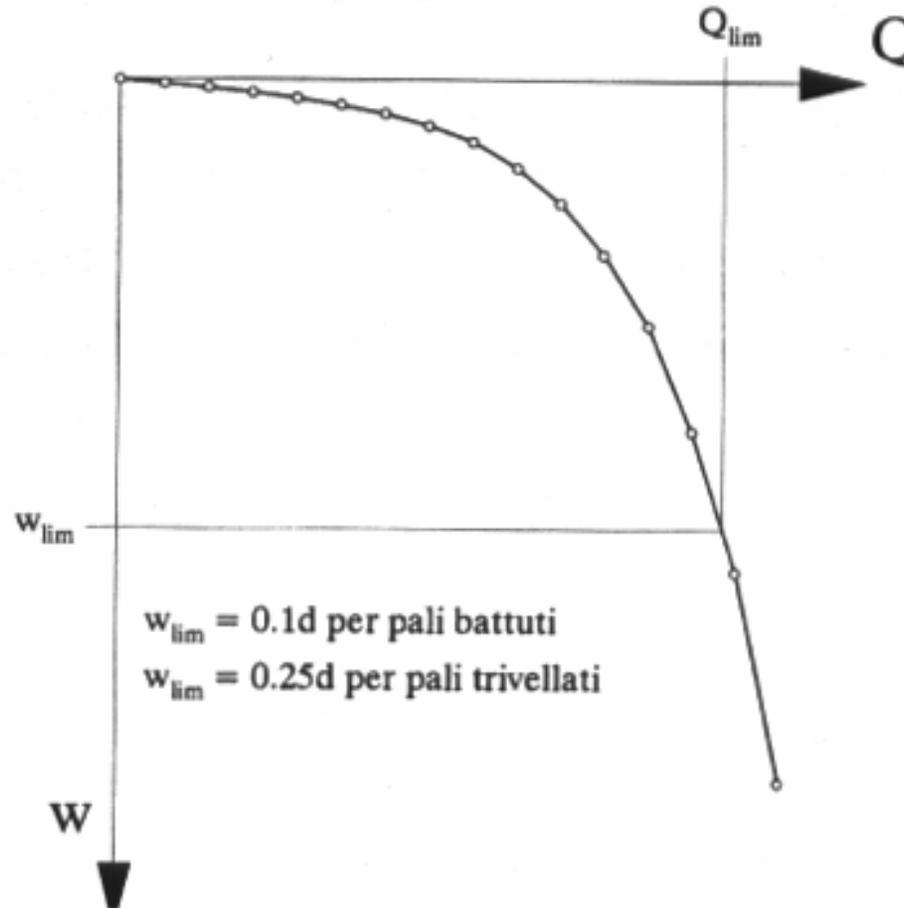
- Curva carichi – cedimenti
- Carico limite del palo
- Deformazioni lungo il fusto del palo
- Carico assiale lungo il fusto del palo
- Curve di mobilitazione della resistenza laterale ed alla punta

Modalità di prova

- **Prove a carico controllato (*Maintained Load, ML*)**
- **Prove a deformazione controllata
(*Constant Rate of Penetration, CRP*)**
- **Prove a carico di equilibrio
(*Incremental Equilibrium Method, IEM*)**

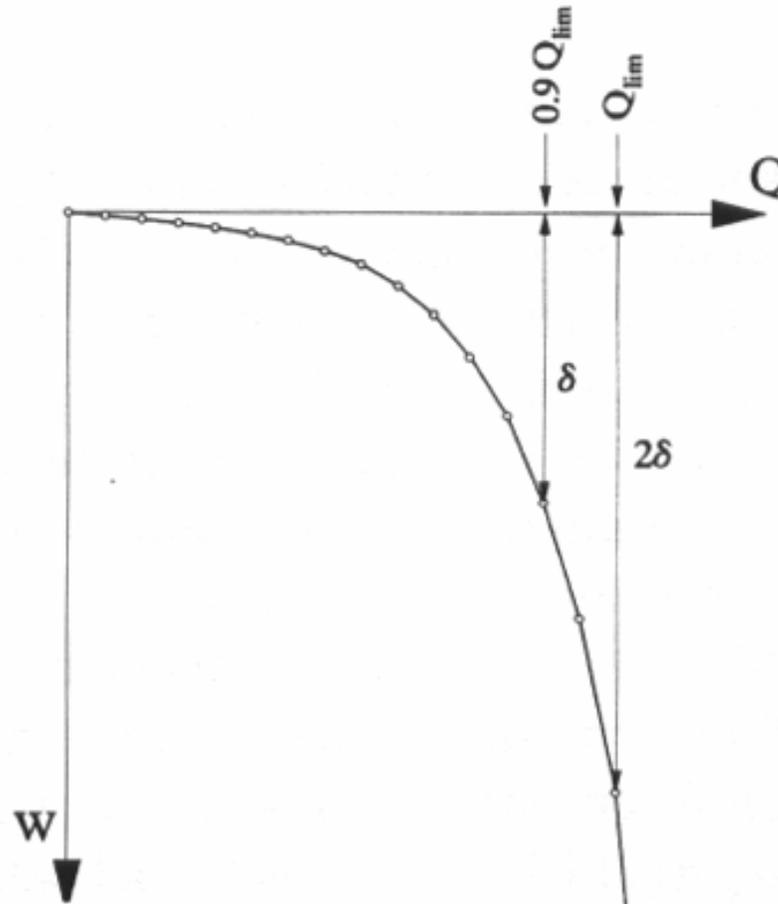
Interpretazione delle misure

Determinazione del carico limite (1)

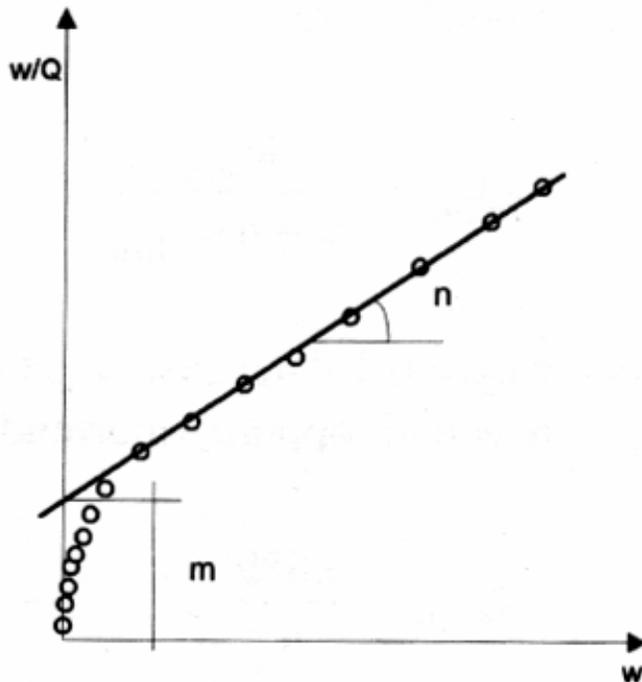


Interpretazione delle misure

Determinazione del carico limite (2)



Interpretazione delle misure
Determinazione del carico limite (3)
Interpretazione iperbolica



$$Q = \frac{w}{m + n \cdot w}$$

Interpretazione delle misure Determinazione del carico limite

Suggerimenti per l'uso dell'interpretazione iperbolica

$$Q_{\text{lim}} = \frac{0.9}{n}$$

Taglio dell'asintoto

$$Q_{\text{lim}} = \frac{W_{\text{lim}}}{m + n \cdot W_{\text{lim}}}$$

Criterio del cedimento (0.1 – 0.25d)

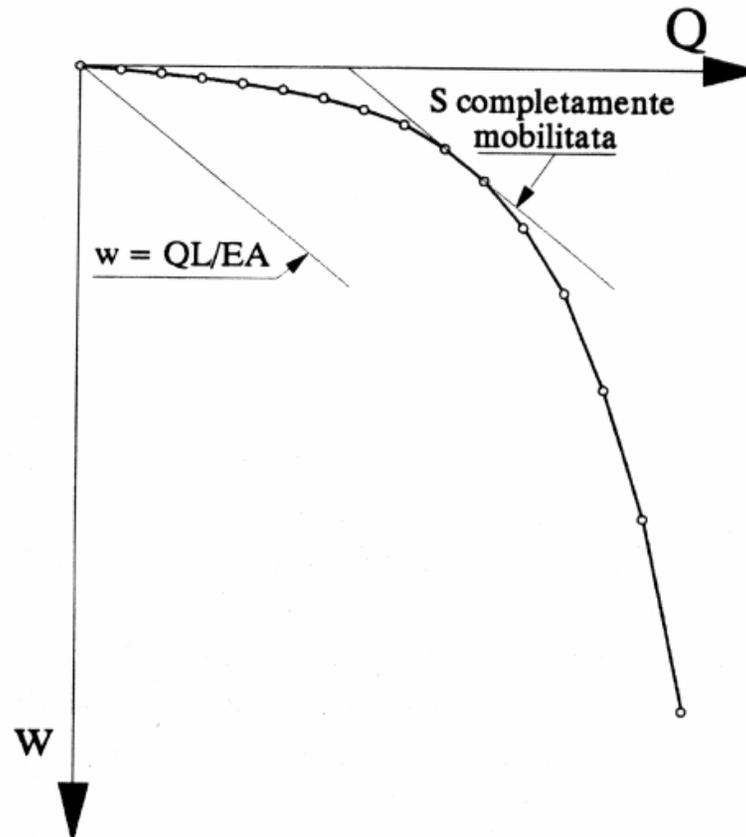
$$Q_{\text{lim}} = \frac{0.889}{n}$$

Criterio del raddoppio del cedimento

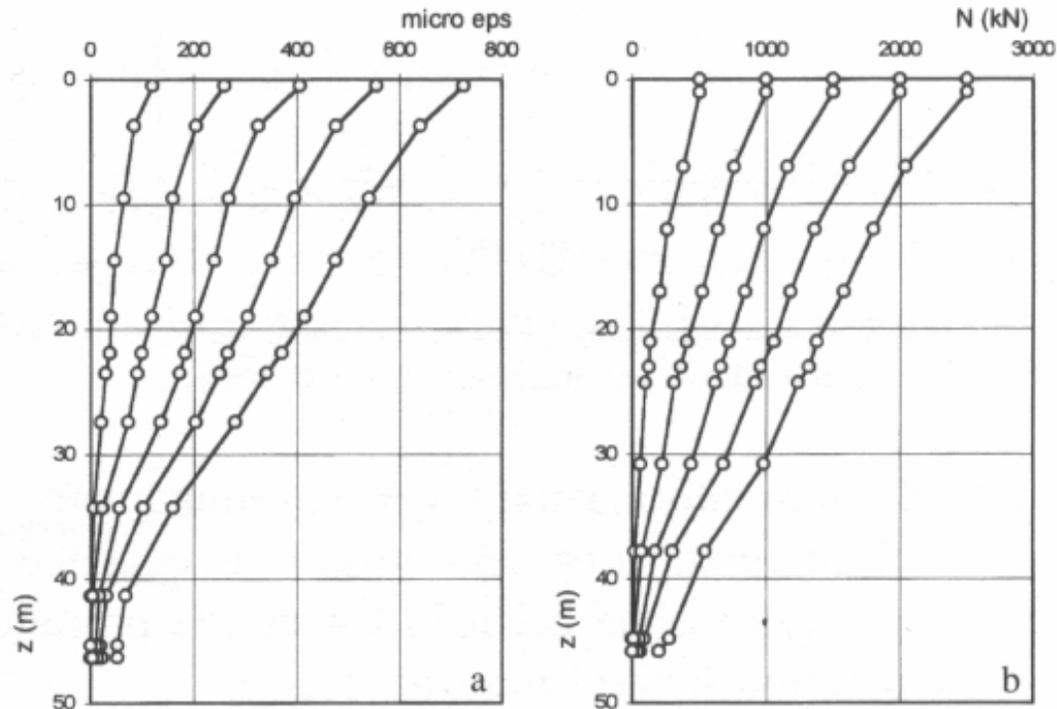
Interpretazione delle misure

Curva carico - cedimento

Mobilizzazione della resistenza laterale

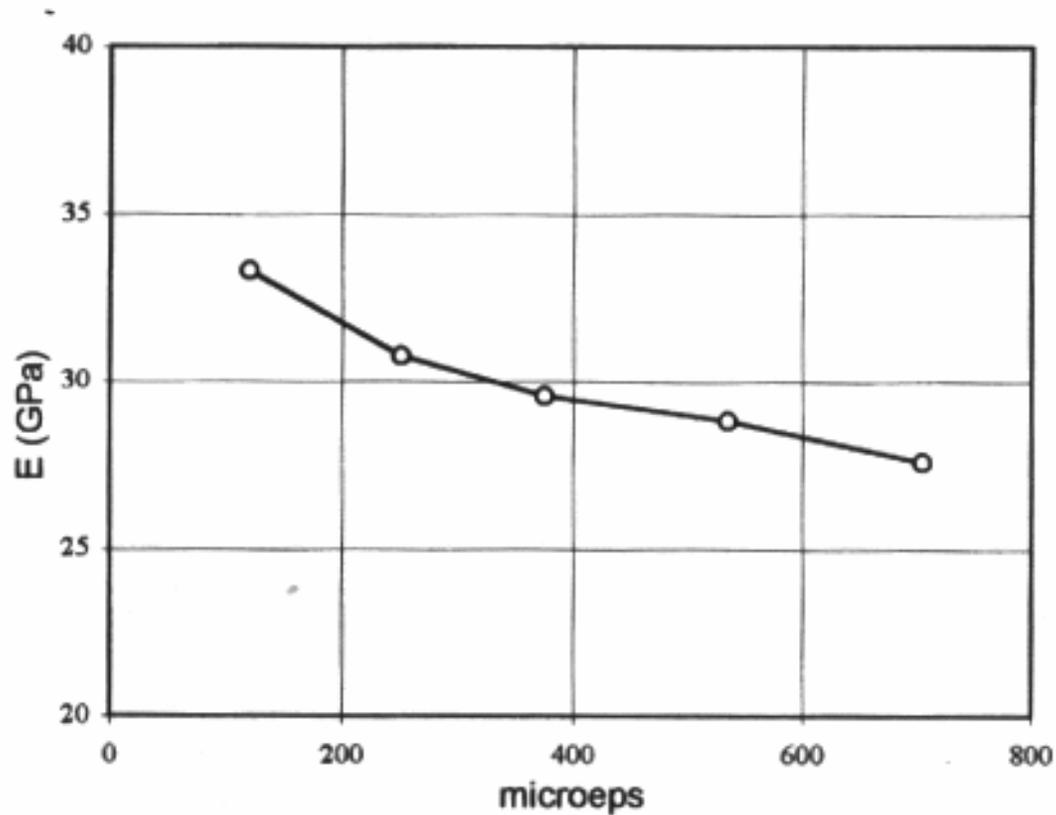


Interpretazione delle misure Palo strumentato

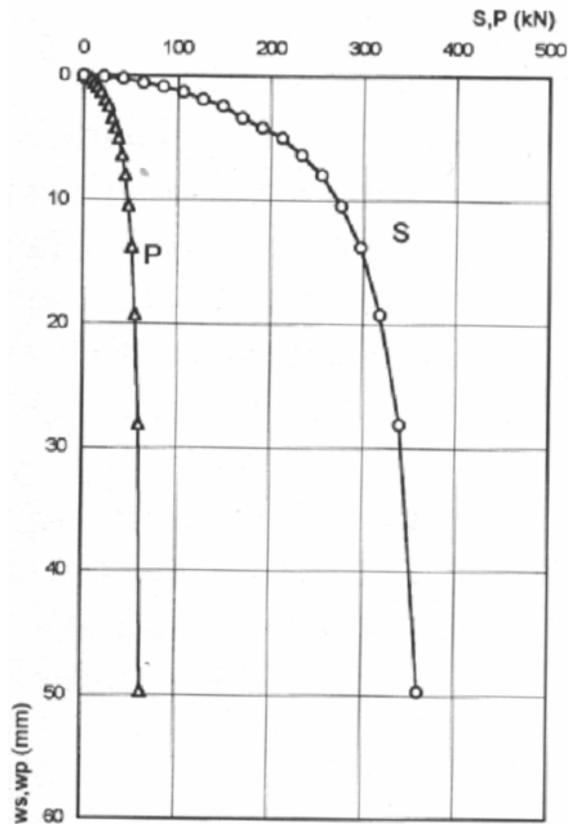


Per passare da ε ad N devo conoscere E e la sezione

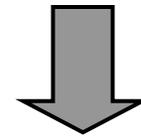
Interpretazione delle misure Palo strumentato



Interpretazione delle misure Palo strumentato



Curve di trasferimento di P ed S,
ma anche di p ed s



Parametri di progetto!!

Carotaggio del palo

- **perforazione in asse o parallela all'asse del palo (verticalità?)**
- **recupero di carote per eventuali prove di schiacciamento**

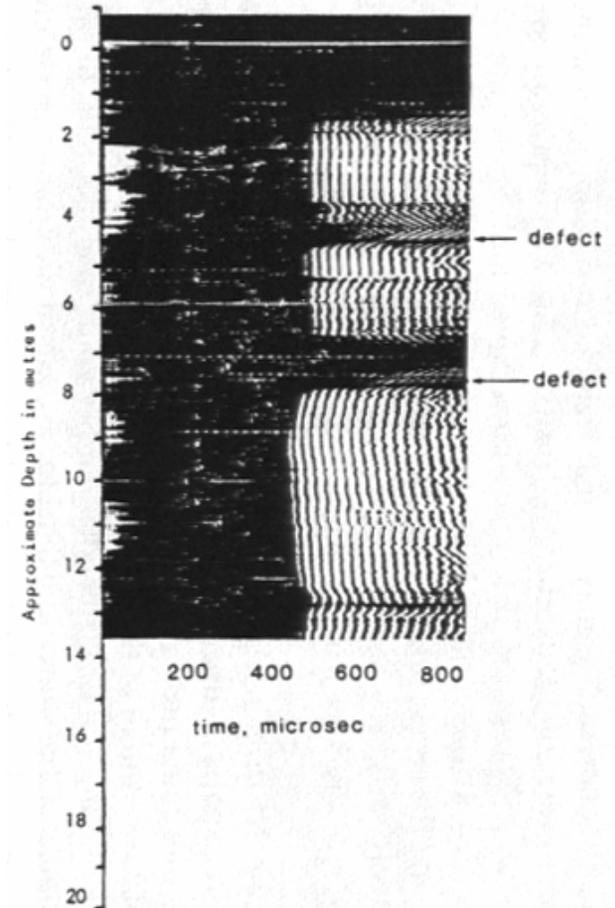
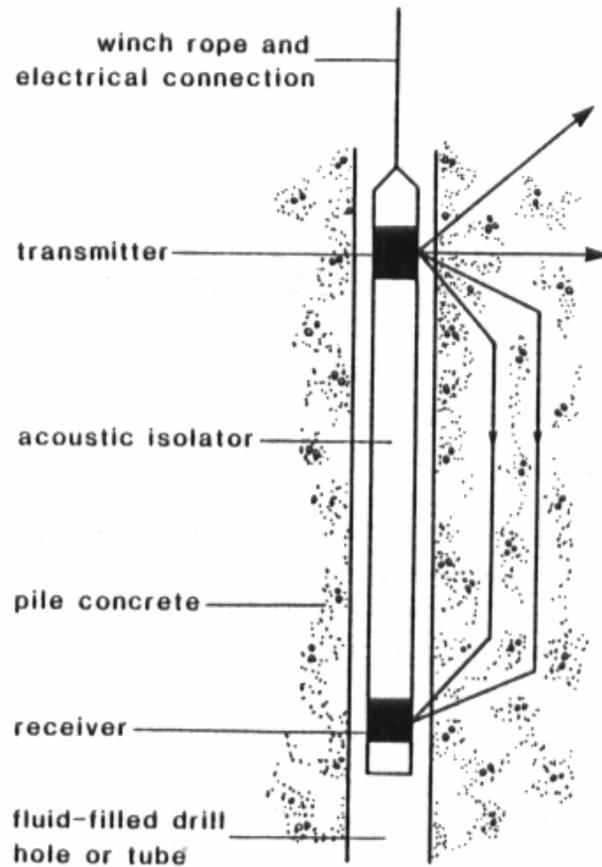
Diagrafia sonica

- **prova a singolo foro**
- **prova a doppio o triplo foro**

Diagrafia sonica in foro singolo

- **perforazione o tubo non metallico pre-installato**
- **perforazione riempita di acqua o fango bentonitico**
- **uso di onde ultrasoniche**
- **influenza della distanza tra ricevitore e trasmettitore**

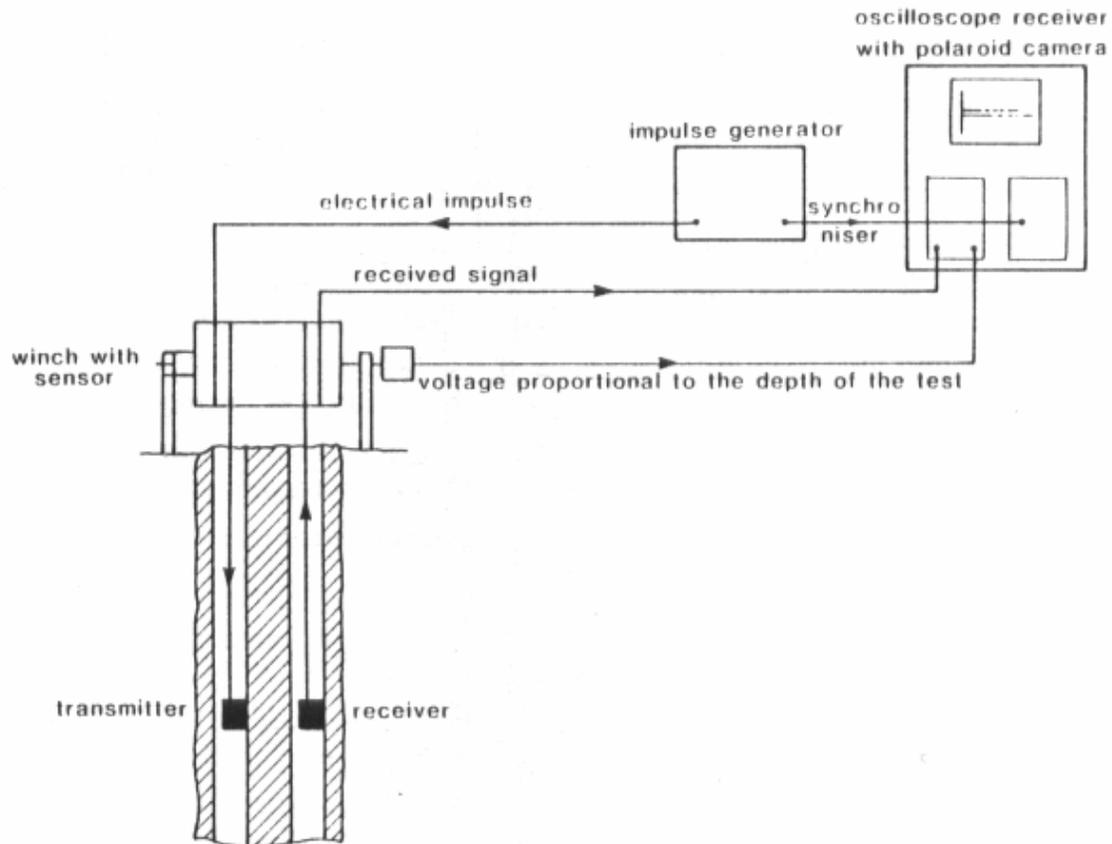
Diagrafia sonica in foro singolo Schema - risultati



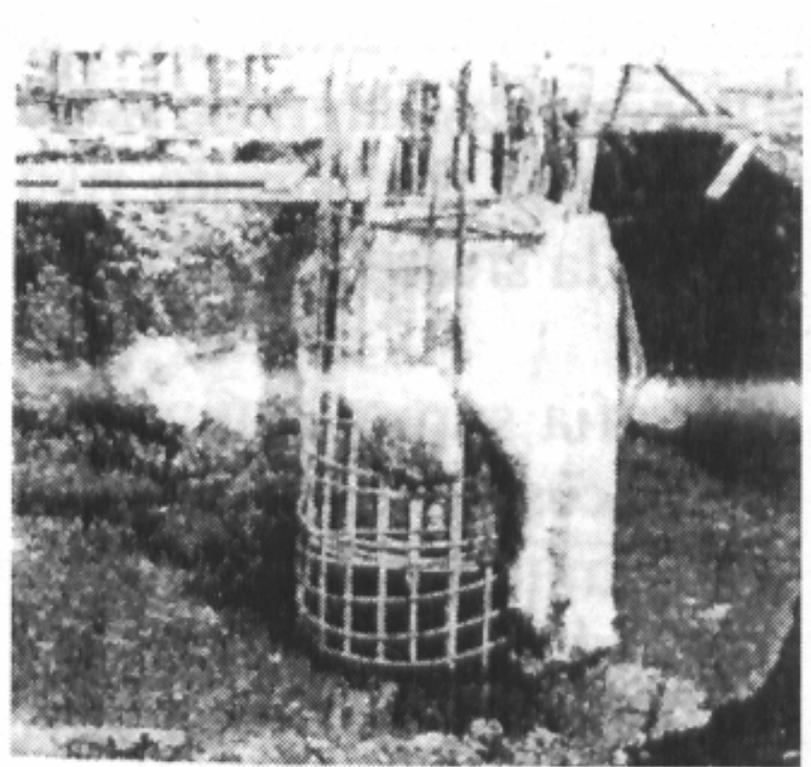
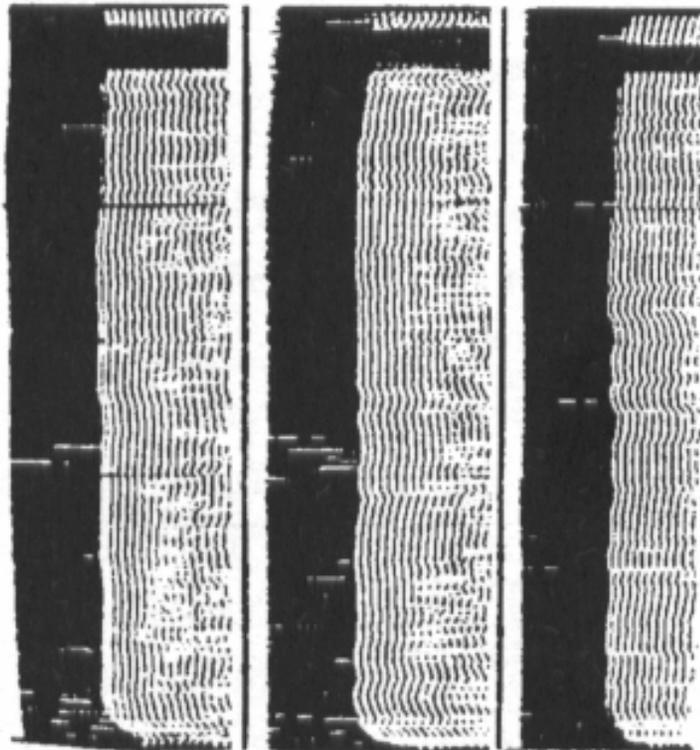
Diagrafia sonica in foro multiplo

- perforazione o tubo metallico pre-installato
- perforazione riempita di acqua o fango bentonitico
- uso di onde ultrasoniche
- influenza della distanza tra ricevitore e trasmettitore

Diagrafia sonica in foro multiplo Schema



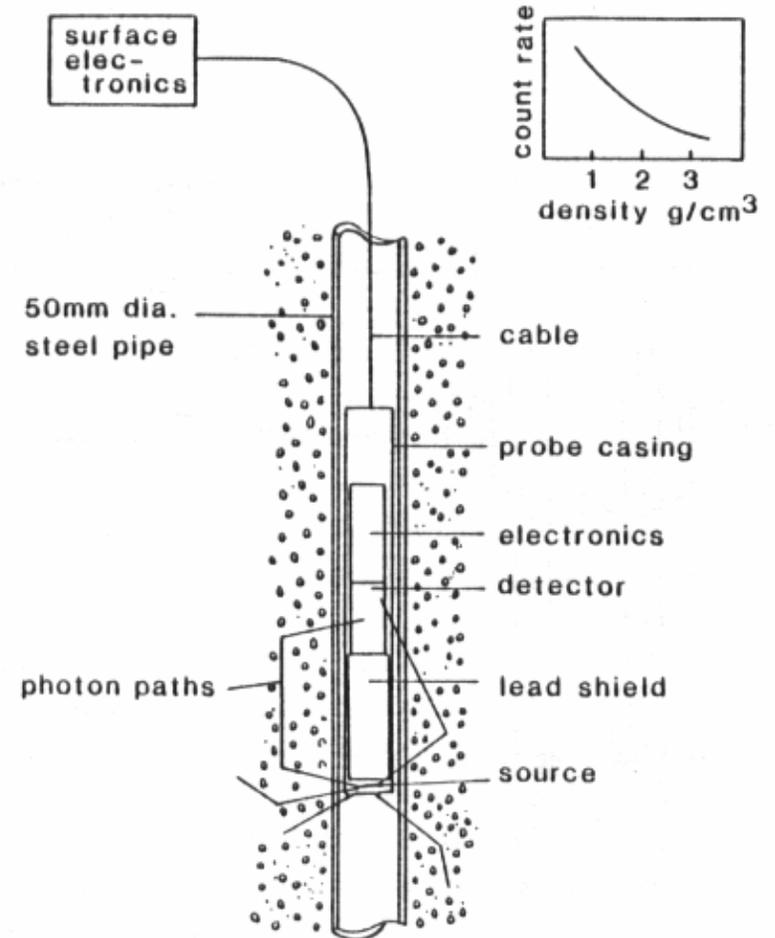
Diagrafia sonica in foro multiplo (triplo) Risultati (esempio)



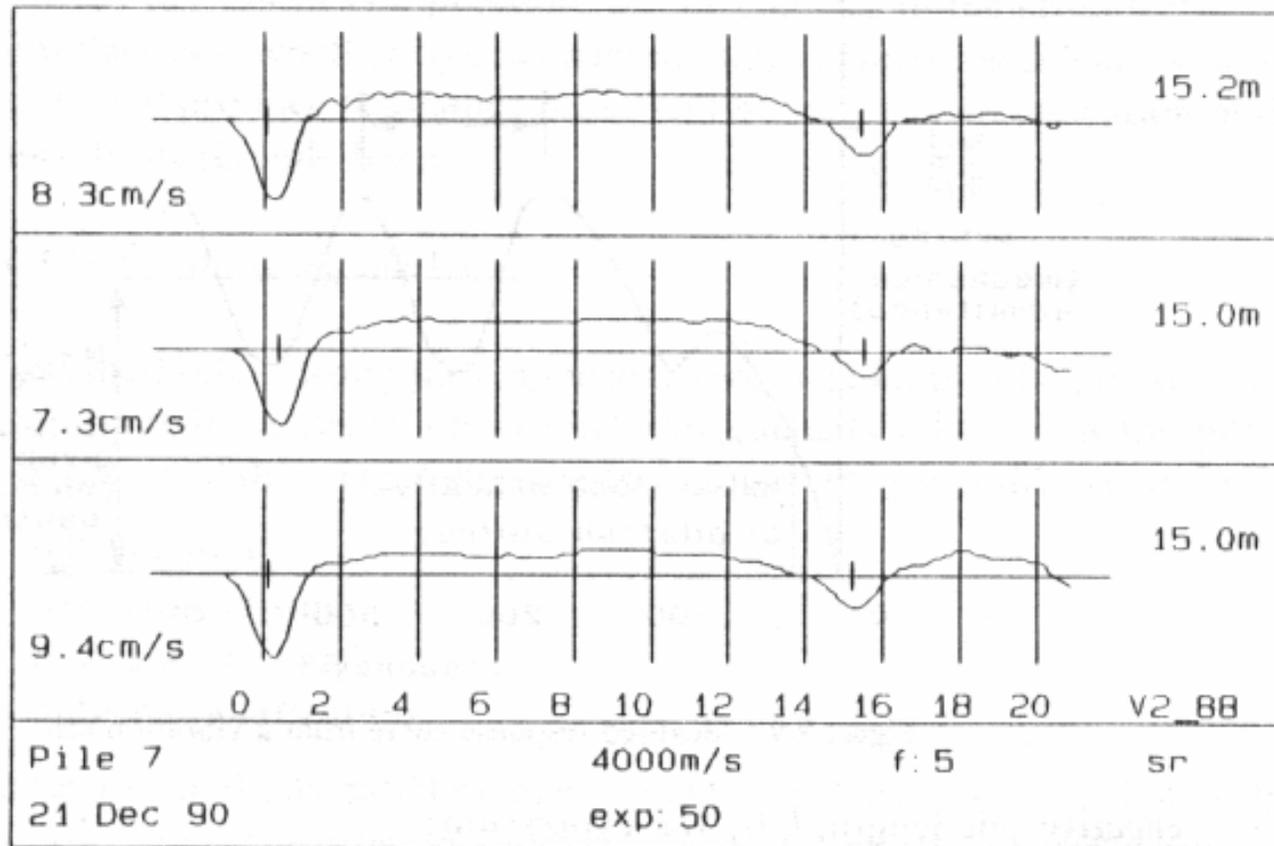
Controlli radiometrici

Fonte di raggi γ o neutroni

Piccoli volumi indagati
Radioattività



Prove ecometriche



Prove ecometriche

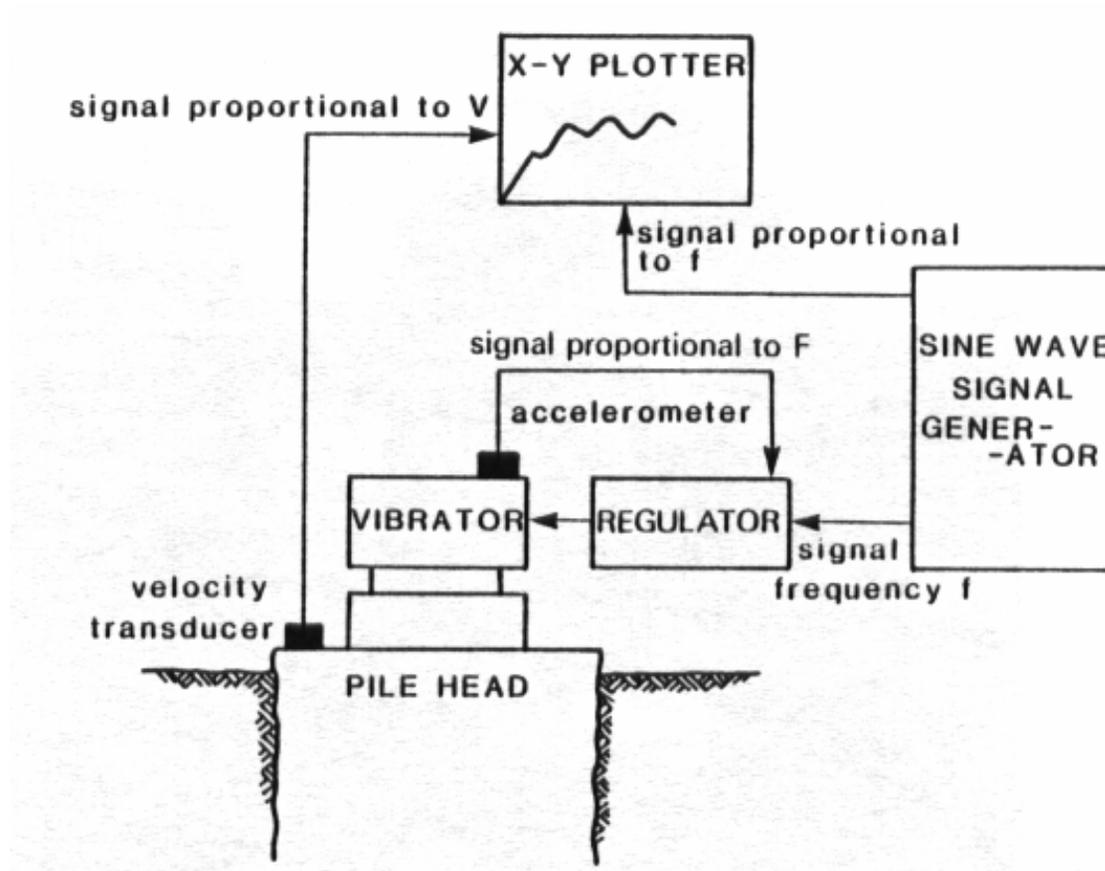
Celerità delle onde meccaniche

$$V_I = C \times V_R \quad (C \approx 1.9)$$

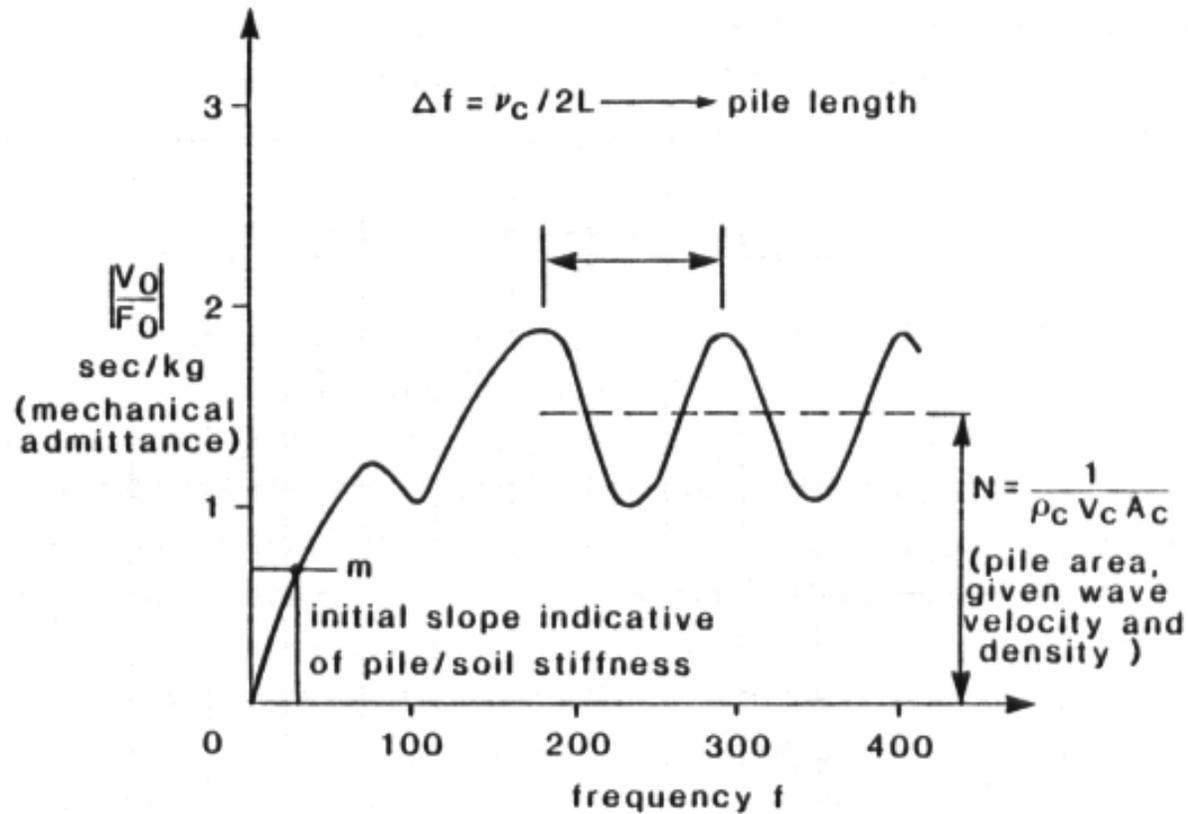
In alternativa $V_I = 4000$ m/s

Non adatte per pali a sezione variabile o giuntati

Prove di ammettenza meccanica



Prove di ammettenza meccanica



Prove di ammettenza meccanica Limitazioni

- **terreni rigidi $30 > L/d > 20$**
- **terreni soffici su strati rigidi $50 > L/d > 30$**
- **pali a sezione variabile o giuntati**

Prove di carico dinamiche

**Standard Test Method for High Strain Dynamic Testing of Piles
ASTM D4945**

Obiettivi:

- **definizione della capacità portante**
- **definizione dell'integrità del palo**
- **caratteristiche dinamiche del terreno**

Applicazione della forza d'urto

Battipalo o altro strumento che permetta di generare uno spostamento del palo o di mobilitare la resistenza statica per un periodo di almeno 3 ms

L'impatto deve essere assiale al palo

Misura della forza

Attraverso sensori di deformazione posizionati almeno alle estremità di un diametro. E' necessario conoscere E (dinamico) per determinare la forza.

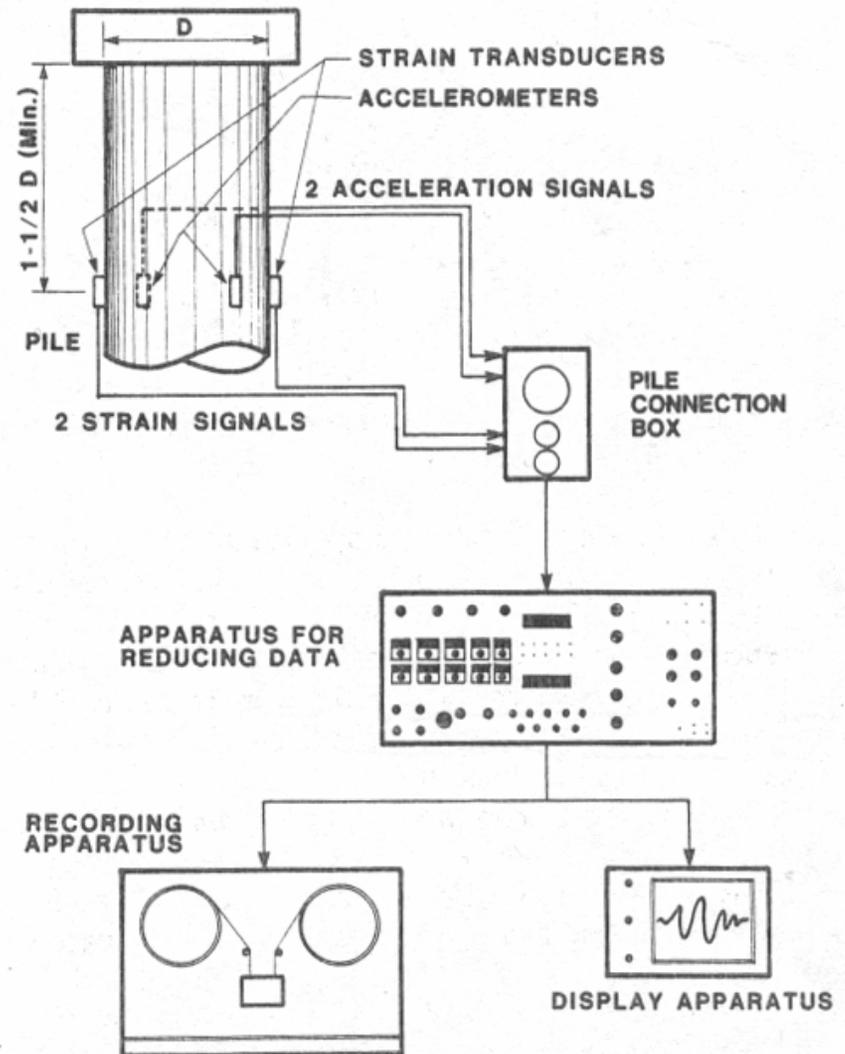
Attraverso una cella di carico dinamica posizionata tra testa palo ed incudine

Misura della velocità

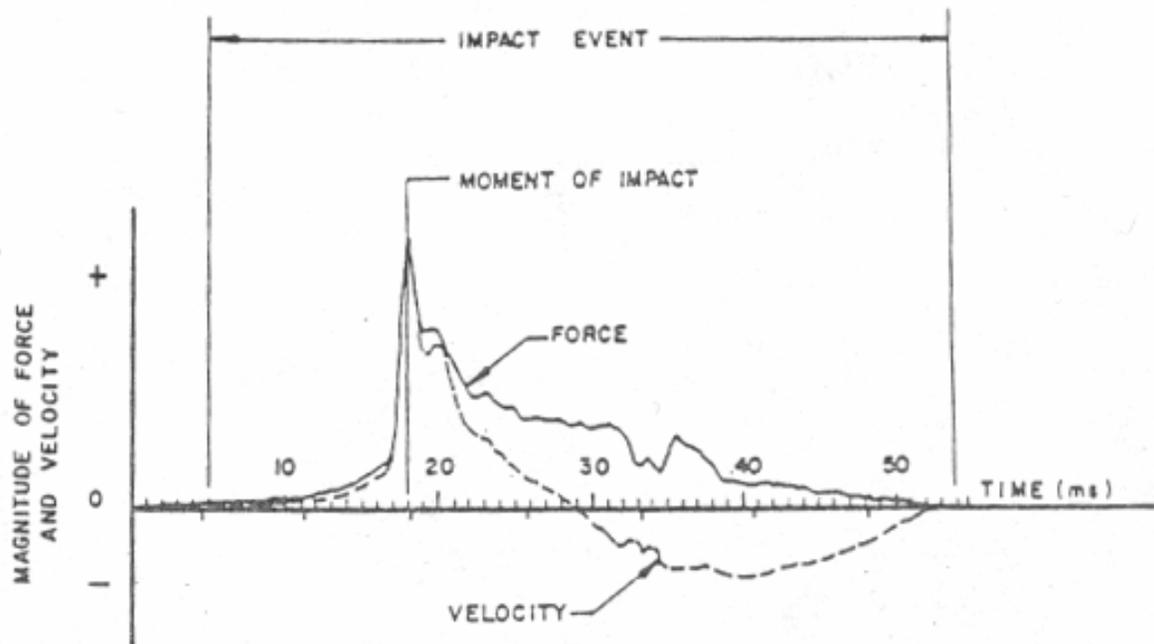
Attraverso accelerometri (integrazione nel tempo).

Attraverso velocimetri o trasduttori di spostamento

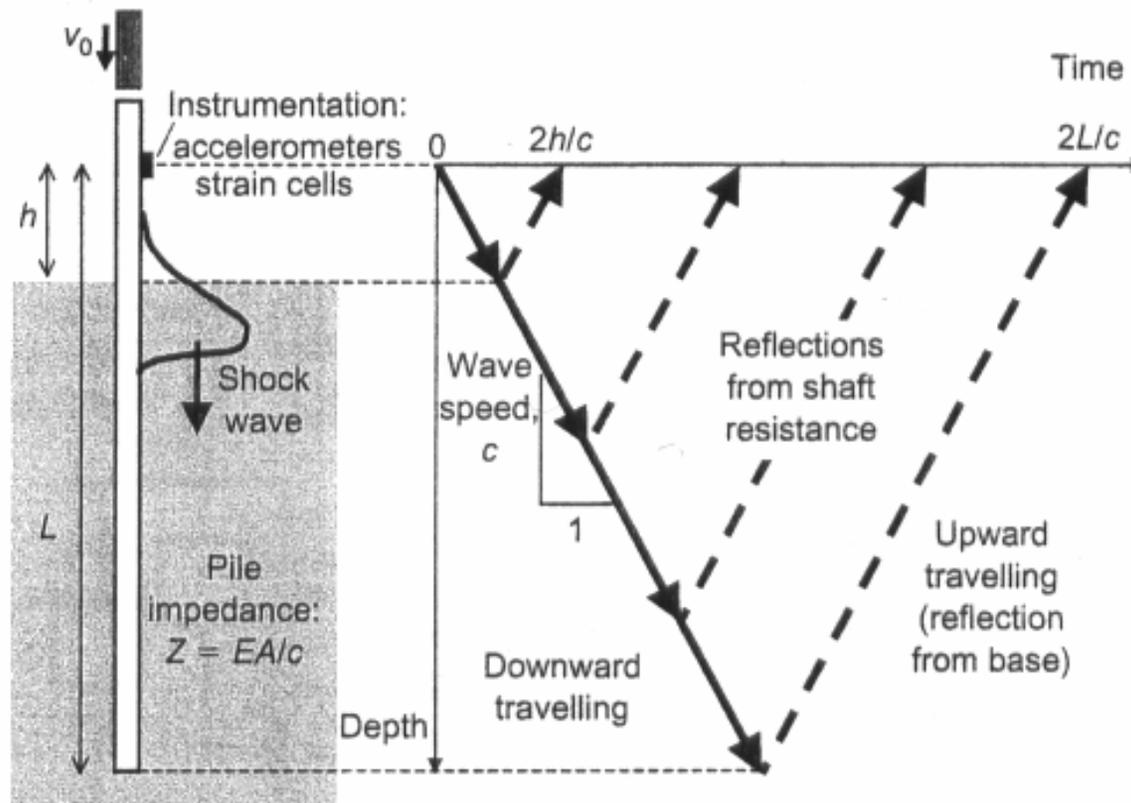
Schema della attrezzatura



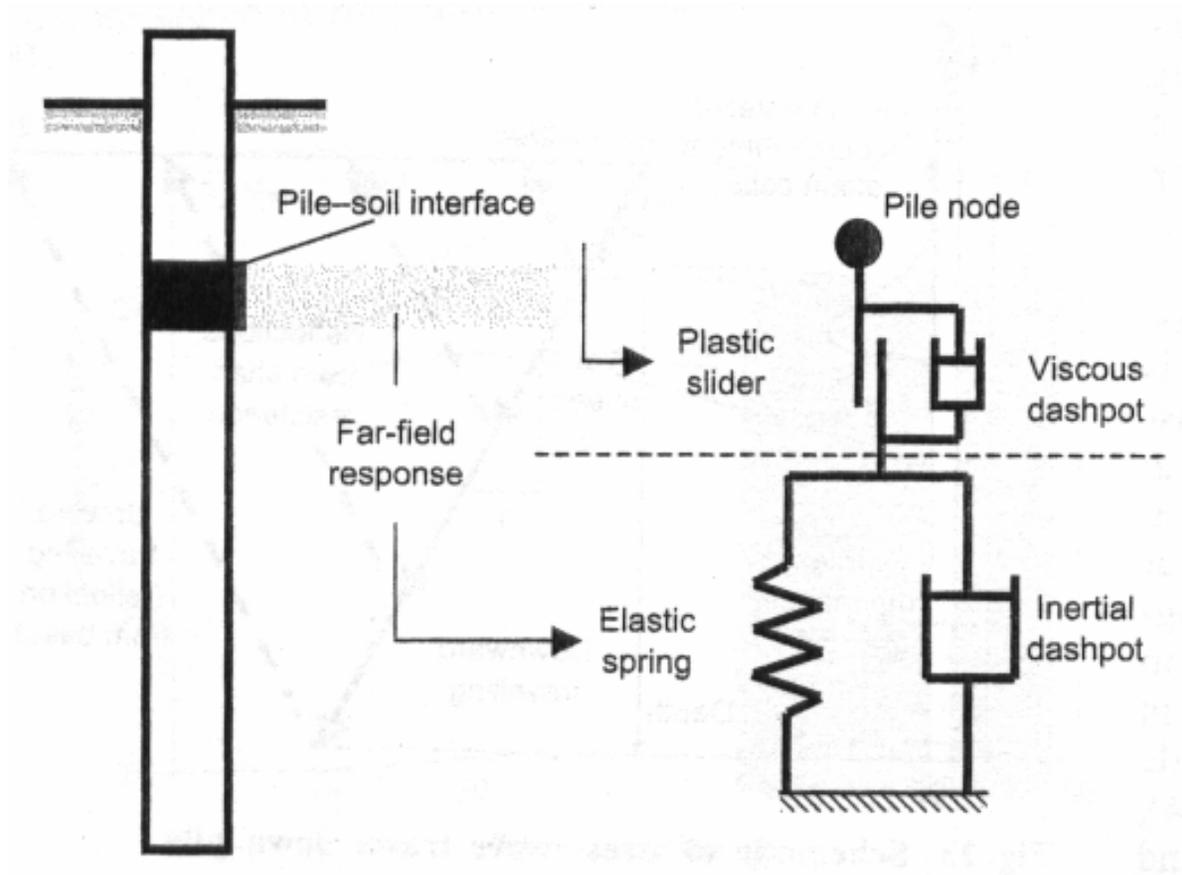
Esempio di misura



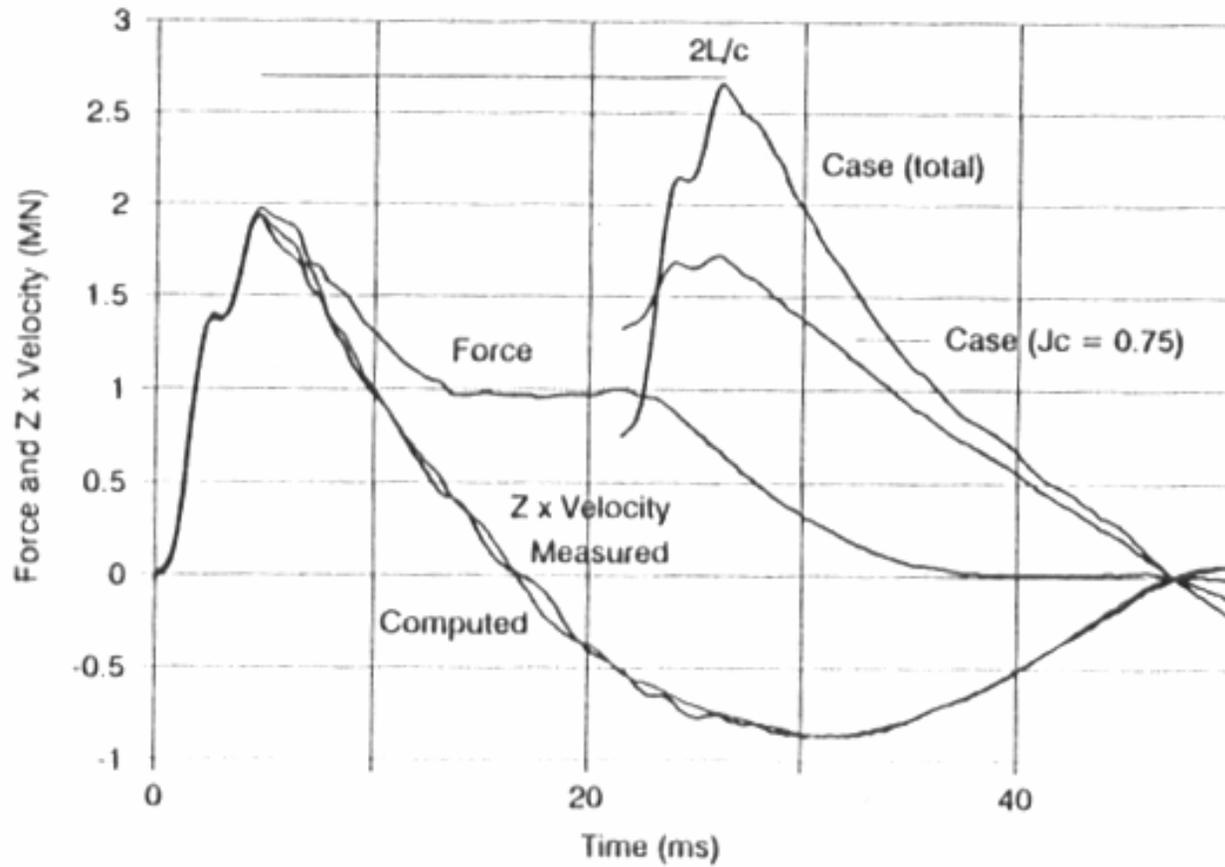
Propagazione dell'onda d'urto nel palo



Modellazione del palo e del terreno



Interpretazione delle misure



Considerazioni sulle prove dinamiche

- **Effetti della battitura sui pali in terreni coesivi**
- **Energia dell'urto sufficiente a mobilitare la resistenza ultima**
- **Interpretazione non univoca dei dati**
- **Coazioni dovute alla battitura a volte importanti**