

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA  
 QUINTO CONVEGNO DI GEOTECNICA  
 Palermo, Marzo 1961

FONDAZIONE SU PALI DELL'EDIFICIO PER LA CABINA  
 « CONTAVALLI » DELLA S.B.E. A BOLOGNA

E. INDRI (\*)

SOMMARIO: La S.B.E. ha in corso di costruzione nel vecchio centro urbano di Bologna un edificio per la stazione di trasformazione 60/15/3 KV per la alimentazione elettrica della zona.

La costruzione dell'intero edificio è fondata su pali, del diametro di cm 42 e cm 52, spinti fino alla profondità di m 22,50, per raggiungere uno strato di argilla di calcare bleu compatta.

Si descrivono le disposizioni generali della fondazione e si riportano i dati di calcolo e delle misure di cedimenti eseguite su alcuni pali di prova opportunamente scelti.

La Società Bolognese di Elettricità (S.B.E.) ha in corso di costruzione un edificio in via Mentana, nel centro del vecchio nucleo urbano di Bologna, per installarvi una stazione di trasformazione 60/15/3, KV, destinata alla alimentazione elettrica della zona.

L'edificio occupa un'area circondata da vecchie costruzioni, che si estendono praticamente lungo tutto il perimetro, la presenza delle quali ha imposto notevoli soggezioni allo svolgimento dei lavori, dato anche lo stato di vetustà di alcuni fabbricati; l'area occupata è poi tagliata diagonalmente per tutta la sua lunghezza da un torrente (Acque Pubbliche) che funge anche da canale collettore, detto Aposa, il quale, lungo tutto il suo percorso entro al perimetro urbano, corre al di sotto degli edifici della zona; per tutta la relativa lunghezza il condotto è coperto con volta e piedritti in muratura di mattoni assai vetusta che ha dovuto essere sostituita, nel tratto corrispondente alla stazione, da uno speciale condotto in c.a., raccordante i tronchi a monte e a valle preesistenti.

La costruzione dell'intero edificio, compresa la esecuzione dei pali, è stata eseguita dall'impresa DROUX, di Bologna, la quale ha curato pure progettazione di dettaglio e l'esecuzione dei calcoli di stabilità relativi alle varie strutture. La direzione dei lavori è stata svolta dal Servizio Lavori Idraulici e Civili della S.B.E.

Il terreno di fondazione, la cui consistenza è stata previamente accertata con sondaggi del diametro di cm 40, è composto, a partire da quota 0, corrispondente al piano stradale come segue:

- a) da q. 0,00 a q. - 5,60: materiale di riporto e macerie di varia natura e provenienza;
- b) da q. - 5,60 a q. - 10,00: argilla di colore chiaro, presenza di pietrisco, plastica per infiltrazioni di acqua;
- c) da q. - 10,00 a q. - 12,00: argilla di colore bruno, per presenza di materiale organico;
- d) da q. - 12,00 a q. - 21,50: argilla sabbiosa, la cui consistenza va migliorando con la profondità, con tracce di sostanze organiche;
- e) da q. - 21,50 a q. - 28,00: argilla di calcare bleu, compatta.

Vista la natura del sottosuolo, si è ritenuto prudente discendere con la palificata generale di fondazione almeno fino allo strato di argilla bleu, impostando quindi i pali ca. a q. - 22,50, cosicché gli stessi, essendo stato previamente eliminato lo strato di materiale di riporto, sono risultati mediamente lunghi m 18,00 ca. Venne scelto il tipo di palo in calcestruzzo gettato in opera entro tubi di sonda, armato nella parte superiore con gabbia metallica, anche in relazione alla necessità di ubicare alcuni pali in immediata vicinanza delle fondazioni di edifici adiacenti.

I pali vennero previsti di due diametri diversi, rispettivamente di m 0,42 e di m 0,52, usando i primi

(\*) Prof. Dott. Ing. Egidio INDRI, Società Adriatica di Elettricità - Servizio Costruzioni Idrauliche.

dove era possibile distribuire i pali stessi senza temere interferenze con le fondazioni dei fabbricati vicini, mentre i secondi vennero posti dove per difetto di spazio era necessario concentrare i carichi su minor numero di pali. Le testate dei pali vennero collegate con travi rovescie di fondazione, oppure in gruppi di più pali (da tre a sei) con opportuni plinti.

Il carico affidato a ciascuno di essi è stato fissato in tonn 40 per i pali da 42 cm, e di 50 tonn per i pali da 52 cm. Il grado di sicurezza risultante, valutato secondo la formula di DÖRR, è pari a 2,5 per il palo da 42 cm; in detta formula, il carico portato dalla punta è di ca. 10 tonn mentre quello sostenuto per attrito laterale, risulta di ca. 100 tonn, avendo assunto rispettivamente per l'argilla plastica e l'argilla sabbiosa valori dell'angolo di equilibrio  $\varphi$  rispettiva-

formula di DÖRR, ma la ripartizione fra punta e attrito laterale risulta assai diversa. Secondo invece la formula di CAQUOT e KERISEL, il carico che il palo di 42 cm potrebbe portare con grado di sicurezza pari a 3 sarebbe di 90 tonn per la punta, e di 160 tonn per attrito laterale, valori cioè assai superiori a quelli precedentemente trovati.

Tutto ciò ha consigliato una certa cautela nello stabilire il valore massimo del carico da assegnare a ogni palo, ed ha confermato la necessità di eseguire prove dirette in sito, per la valutazione effettiva del comportamento sotto carico dei pali.

Nel caso in esame, sono state fatte prove di carico su alcuni pali, opportunamente disposti, a cura del Laboratorio Prove e Strutture della Facoltà di Ingegneria della Università di Bologna, diretto dal Prof.

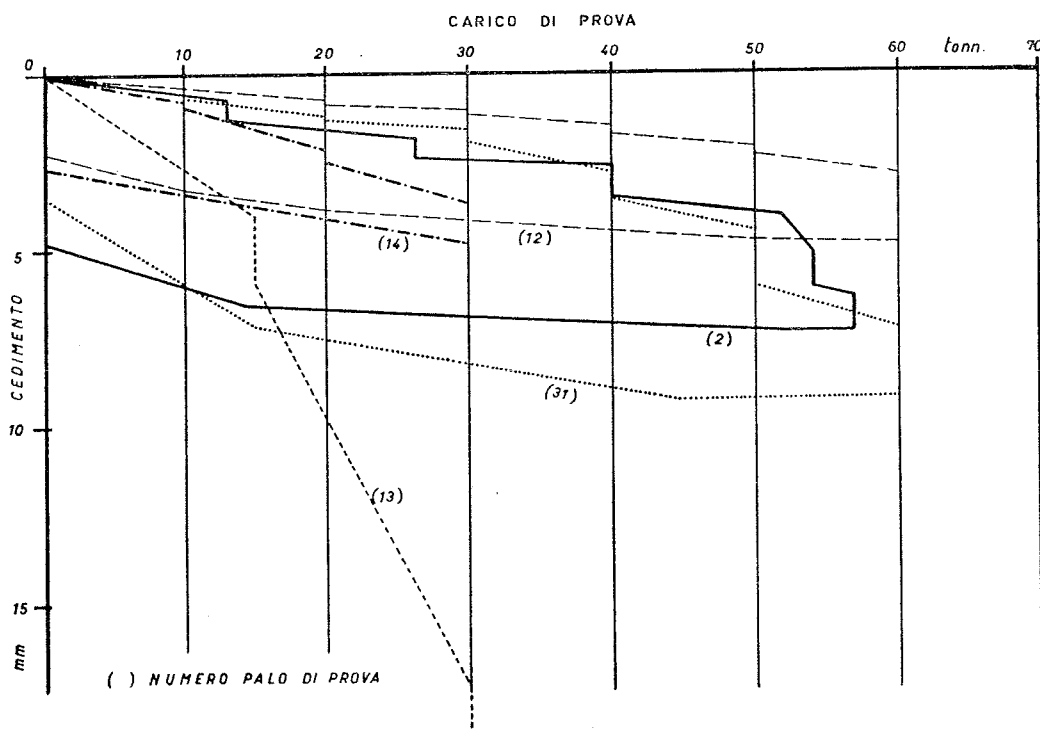


Fig. 1

mente di  $25^\circ$  e di  $30^\circ$  e del coefficiente di attrito  $f$  rispettivamente 0,20 e 0,30, mentre il peso specifico del terreno  $\gamma$  è stato valutato pari a  $1,6 \text{ ton/m}^3$ .

E' da rilevare peraltro che dalle varie formule in uso applicate al caso specifico tenuto conto del materiale attraversato, non si hanno risultati concordanti. Infatti, per il palo da 42 cm, dalla formula di RANKINE si dedurrebbe un carico di rottura di ca. 30 tonn e un carico di lavoro di ca. 10 tonn, (coefficiente di sicurezza 3) mentre dalle formule di TERZAGHI si avrebbe un carico di sicurezza della punta di ca. 22 tonn ed un carico di sicurezza per attrito laterale all'incirca eguale. Il carico totale che può portare il palo sarebbe così secondo la formula di TERZAGHI praticamente eguale a quello calcolato con la

POZZATI, risultando per i pali nn. 2, 12, 14 ( $\varnothing$  42 cm,  $L = 18$  m) e per il palo n 31 ( $\varnothing$  52 cm,  $L = 18$  m) gli elementi di carico e di cedimento riportati nella figura.

I risultati sono fra loro concordanti, e nel confermare la relativa omogeneità della distribuzione qualitativa del materiale di fondazione per tutta l'area interessata giustificano i valori ammessi per il carico della struttura superiore da affidare ad ogni singolo palo.

E' da rilevare anche che il procedimento costruttivo adottato impone un'esecuzione accurata per assicurare la perfetta riuscita di ogni palo. Si è riscontrato infatti per un palo, della cui riuscita si avevano dubbi a causa di alcune circostanze emerse durante

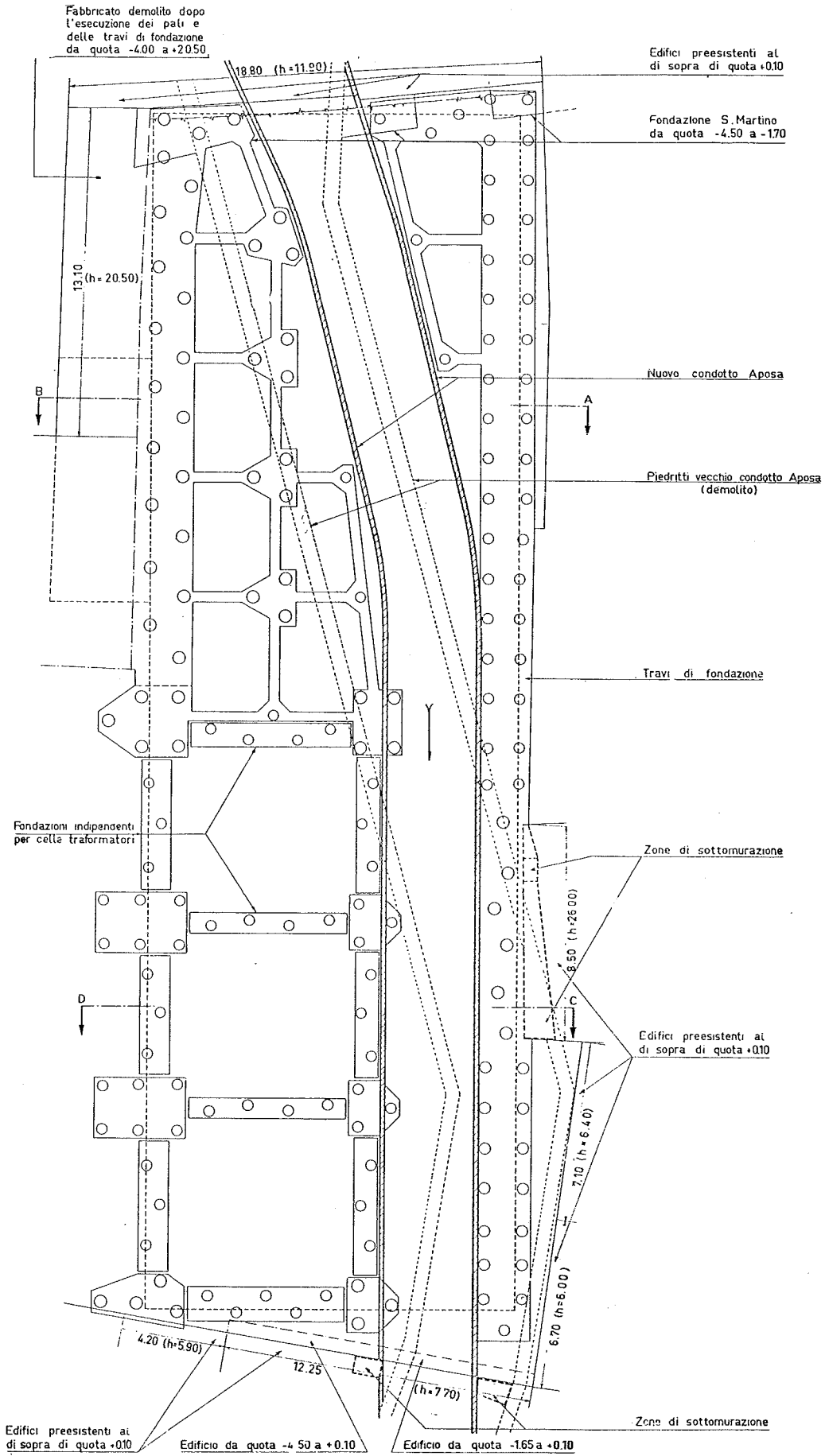


Fig. 2

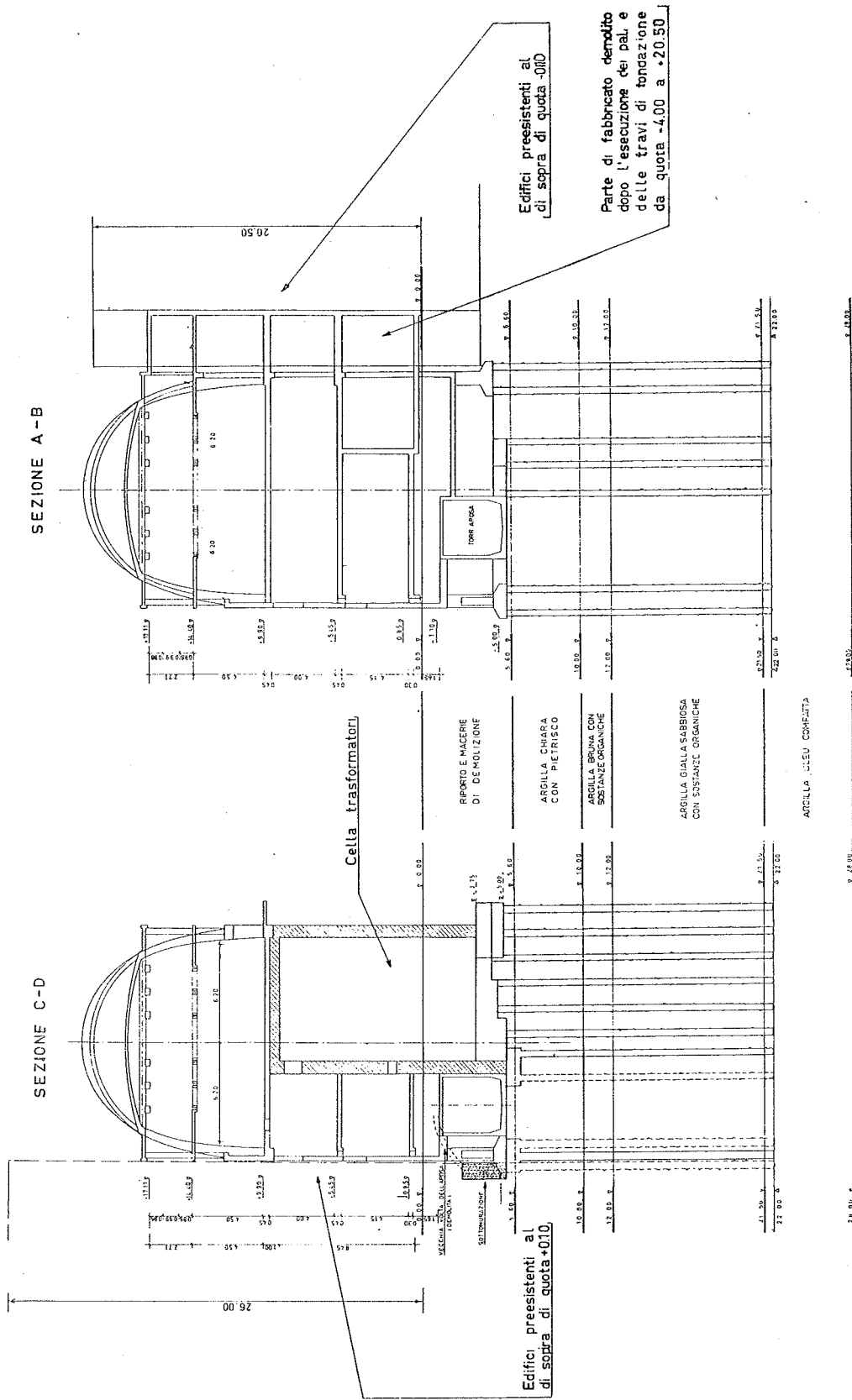


Fig. 3

la sua costruzione, che al crescere del carico, l'affondamento procedeva in modo anormale, avendosi cedimenti che per 15 tonn erano tripli di quelli degli altri pali, mentre a 30 tonn erano di ca. 10 volte tanto. In seguito a ciò, a tale carico vennero sospese le prove e il palo stesso abbandonato e non utilizzato per la fondazione. Tale fatto conferma la necessità di un accurato controllo delle operazioni di costruzione, non potendosi ovviamente pensare a provare preventivamente sotto carico ogni palo.

Le posizioni dei pali di fondazione erano anche legate a quelle del condotto dell'Aposa, che traversa longitudinalmente tutta la base dell'edificio; esso è costituito, come si è detto, da un canale a sezione rettangolare, con pareti sottili in c.a. intervallato da opportuni giunti ed il suo tracciato era evidentemente obbligato dalle due sezioni di inizio e alla fine dalla zona della cabina, che dovevano restare nella loro primitiva ubicazione: la sezione normale del canale era poi condizionata dalle necessità idrauliche conseguenti alla portata massima da scaricare e alla pendenza disponibile fra le quote all'inizio e alla fine del nuovo tracciato. Risultò pertanto alquanto difficile disporre i pali nella ubicazione più opportuna in relazione alle strutture sovrastanti e ai carichi da queste trasmessi.

La presenza del vecchio canale, che doveva essere tenuto in efficienza durante l'esecuzione del lavoro di perforazione e getto dei pali, che si svolsero prima della costruzione del nuovo condotto, ha imposto notevoli soggezioni allo svolgimento dei lavori; malgrado fossero state disposte opportune coperture di protezione e opere di esclusione delle acque dalle zone di lavoro che in parte servirono anche per la successiva esecuzione del nuovo condotto, si ebbero in occasione di forti precipitazioni alcune esondazioni, che se non compromisero la riuscita del lavoro, ne resero alquanto più difficoltosa la esecuzione, specie per la necessità di eseguire operazioni di ripulitura e di ripristino piuttosto laboriose.

Oltre ai lavori di esecuzione delle palificate vere e proprie si dovettero anche compiere alcuni provvedimenti di consolidamento e di sostegno alle fondazioni delle costruzioni adiacenti, con lavori di sottomurazione di una certa delicatezza.

Particolari cautele si dovettero osservare nella esecuzione dei tratti di raccordo fra la sezione rettangolare del condotto in c.a. e le due sezioni a monte e a valle, coperte da volta in muratura assai vecchia e già sottoposta a riparazioni e rifacimenti parziali, anche in relazione alle necessità a non ridurre la sezione idrica disponibile.

In particolare, in corrispondenza all'innesto a valle del nuovo condotto dell'Aposa con il canale coperto

preesistente, si dovette sostenere il primo tratto della vecchia volta in muratura con un pilastro centrale e un barbacane sul lato sinistro, in mattoni, che vennero successivamente demoliti; si poté con l'ausilio di detti sostegni procedere alla costruzione dei due nuovi piedritti, sui quali venne poi impostata una volta in mattoni sottomurante la volta preesistente, in modo da realizzare il voluto raccordo.

Sul lato sinistro del condotto dell'Aposa, dove la vecchia volta di copertura in mattoni era sottostante a un tratto del muro perimetrale di un fabbricato piuttosto alto, il quale era quindi dalla volta stessa sostenuto, si dovette procedere a un lavoro piuttosto delicato di demolizione della vecchia volta e del suo piedritto, per campioni successivi, sottomurando di conseguenza il muro perimetrale del fabbricato. Tale lavoro venne reso assai più difficile, dato che bisognava conservare l'efficienza di scarico dell'Aposa, e costrinse comunque ad adottare nel tratto di fondazione corrispondente una fondazione su una sola fila di pali  $\varnothing$  52, alquanto sfalsati come allineamento.

In corrispondenza alla testata a monte della stazione (rispetto al corso dell'Aposa), un preesistente fabbricato veniva a incidere lievemente con un suo muro esterno sul perimetro della nuova costruzione, muro fra l'altro assai deficiente come fondazione propria, che addirittura mancava per qualche tratto non molto esteso. Si dovette anzitutto risarcire adeguatamente le parti mancanti, portando contemporaneamente il filo della fondazione in posizione tale da non interferire con le fondazioni del nuovo edificio, creando così lo spazio necessario per l'esecuzione dei pali. Si provvide poi, consolidata così la fondazione a scarnire il muro sovrastante del limitato spessore che si estendeva al di là del filo della costruenda stazione.

Venne inoltre rifatta in arretrato la posizione del fabbricato retrostante il teatro Contavalli, che in un primo tempo era sembrato dovesse essere conservata e sostenuta con sottomurazione.

Terminate le varie opere di consolidamento e la costruzione dei vari pali, in gruppi o in allineamento, le rispettive teste vennero collegate con i plinti o con le travi di fondazioni, entrambi opportunamente armati con tondini di ferro, sottostanti e rispettivamente ai pilastri principali dell'edificio e alle strutture continue, in particolare le basi delle celle dei trasformatori, che dovevano risultare indipendenti dal resto delle strutture murarie dell'edificio. Le travi di fondazione sopraccitate sono state tenute separate in corrispondenza dei giunti previsti per il fabbricato.

Ultimato il getto delle travi e dei plinti, il resto della costruzione poté procedere in modo del tutto normale.

**SOMMAIRE:** La S.B.E. est maintenant en train de bâtir, dans le vieil centre urbain de Bologne, un poste de transformation 60/15/3 KV pour l'alimentation électrique du quartier.

Le bâtiment sera supporté par des pieux de fondation de 42 et 52 cm de diamètre, poussés jusqu'à une profondeur de 22,50 m afin d'atteindre une couche d'argile calcaire (calcaire argileux) bleue compacte.

L'auteur décrit les dispositions générales de la fondation et donne les données des calculs et des affaissements des pieux de contrôle opportunément choisis.

**SUMMARY:** S.B.E. is now constructing, in the old city center of Bologna a new transforming station, 60/15/3 KV, to supply power to the whole district.

The building is founded on piles, 42 and 52 cm in diameter, driven into the ground down to a depth of 22,50 m in order to reach a layer of blue compact calcareous clay (argillaceous limestone).

The characteristics of the foundation are described and calculations results are given with the values of settlements obtained from the tests made on some piles.