

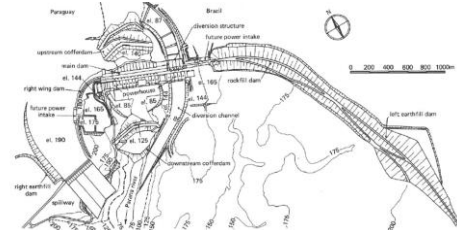
Italian Dam Engineering Abroad
Aggiornamento 2021



CASE HISTORIES: DIGA DI ITAIPU

Piero Ravetta

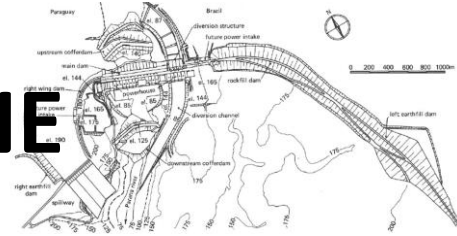
PRESENTAZIONE



Ho accettato di buon grado l'invito a presentare un contributo sul tema delle opere realizzate all'estero dalle società italiane. Il tema scelto è «Case Histories: diga di ITAIPU» ed è proprio la storia di questa opera straordinaria alla quale ho avuto la fortuna di partecipare direttamente. Non mi è sembrato il caso di entrare nei dettagli tecnici del progetto, ben conosciuti da tutti gli addetti ai lavori, concentrando il mio intervento proprio sulla storia del progetto, dalla sua origine ai giorni nostri, e sul contributo della ingegneria italiana forse non sufficientemente conosciuto.

Sono trascorsi 51 anni (1970) da quando la JV italo-americana IECO-ELC è stata selezionata per la redazione dello studio di fattibilità e da questa data inizia la storia di ITAIPU.

PERIODO DI PREPARAZIONE



- Commissione tecnica congiunta Brasile - Paraguay

12 febbraio 1967

- Investigazioni del sito e studio di fattibilità

18 novembre 1970

La commissione tecnica congiunta Brasile Paraguay decise di affidare gli studi a un **CONSORZIO INTERNAZIONALE** di società di ingegneria.

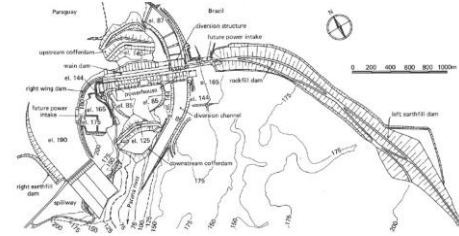
A seguito della valutazione delle proposte di numerosi gruppi qualificati, è stato selezionato il consorzio **IECO – ELC** paritetico, IECO International Engineering Company Inc. - San Francisco e ELC Electroconsult Spa - Milano

[illegible]

PRINCIPI BASE - ogni Paese con uguale peso e opportunità:

- ## Il trattato terminerà nel **2023**...Cosa succederà?

STUDIO DI FATTIBILITÀ



Lo studio di fattibilità **TECNICO-ECONOMICO** per lo sviluppo del potenziale energetico del tratto bi-nazionale del fiume Paraná (190 km) fu realizzato durante gli anni **1971 – 1974**

RAPPORTO FINALE fu consegnato il **16 giugno 1975**

IECO

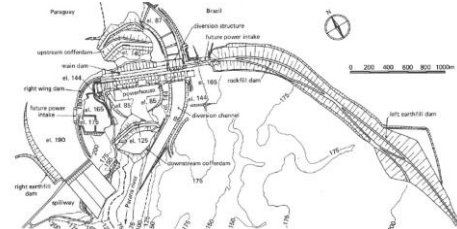
INTERNATIONAL ENGINEERING COMPANY, INC.

220 MONTGOMERY ST. · SAN FRANCISCO · CALIFORNIA 94104
CABLE · INTERENGCO
(415) 397-4071
TELEX · (ITT) 470040
(RCA) 27362

elc

electroconsult

20151 Milano
via Chiabrera 8
telefono 306 502
telegrammi Electroconsult Milano
telex 31398 Milelc



June 16, 1975

CC-111

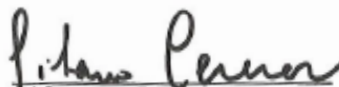
Executive Committee
Joint Technical Commission
Brazil - Paraguay
ELETROBRÁS and ANDE

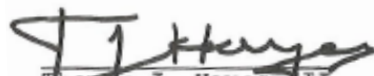
Gentlemen:

Submitted herewith is the Final Report on the Technical and Economical Feasibility Study of the Hydro-electric Development of the Paraná River - Itaipu Project, as scheduled and in accordance with Article 14.1 e) of the Contract of November 21, 1970.

In the name of the Study Group and the Management of the Joint-Venture IECO-ELC, we wish to express our appreciation for the honor of having provided professional services for this great and important project.

Respectfully submitted,

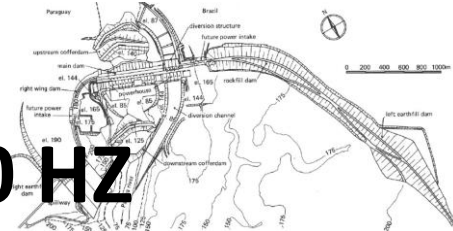

Silvano Cereser
Acting Study Director


Thomas J. Hayes III
President of IECO


Carlo Berghinz
Managing Director of ELC

FREQUENZA

BRASILE 60 HZ vs PARAGUAY 50 HZ

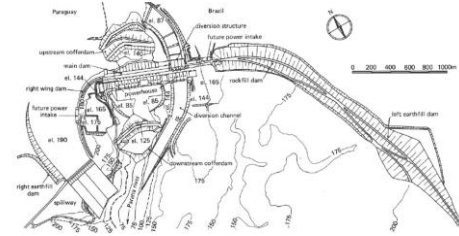


Differenza nella **frequenza** dei due Paesi + **domanda** di energia a 50 Hz

PROBLEMA: come alimentare i due sistemi

SOLUZIONE: convertire tutta l'energia generata dai nove alternatori a 50 Hz (non assorbita dal Paraguay) in corrente continua, trasmessa a Sao Paulo, con due linee a più/meno 600kV e riconvertita a 60 Hz.

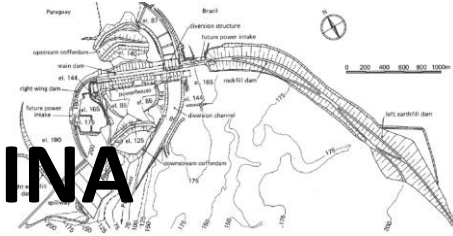
IL TRATTATO ITAIPU



Il trattato non ha subito alcuna modifica nel corso degli anni: Itaipu è **TERRITORIO EXTRATERRITORIALE** immune da turbolenze politiche nei due Paesi.

La presenza di IECO – ELC nel periodo **1973 – 1993** ha contribuito a **SMORZARE** qualsiasi aspirazione a modificare il Trattato e la gestione giornaliera dei rapporti tra i due Paesi, compreso il rispetto dell'effetto «mirrow» nel numero di personale coinvolto nel Progetto.

ACCORDO BRASILE - PARAGUAY - ARGENTINA



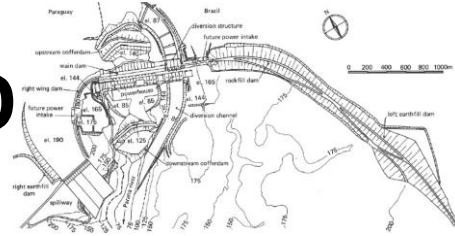
Trattato firmato il **19 ottobre 1979**

Permette l'utilizzo di risorse di energia idroelettrica nel tratto del fiume Paraná da Las Siete Quedas fino all'estuario del Rio de la Plata

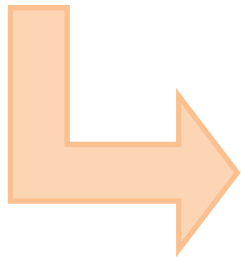
Il trattato **LIMITA** il numero massimo di unità di produzione autorizzate ad operare contemporaneamente:

18 UNITÀ

ESECUZIONE DEL PROGETTO



- Costituzione ITAIPU binazionale → 17 maggio 1974
- IECO-ELC coordinamento ingegneria → 1973
- IECO-ELC controllo qualità e ispezioni → 1980
- Inizio Costruzione Opere Civili → 2 maggio 1975
- Deviazione del fiume → 20 ottobre 1978
- Chiusura Deviazione/Riempimento Serbatoio → 3 ottobre 1982



Operazione Impianto:

Unità 1 → attiva dal 5 maggio 1984

Unità 18 → attiva dal 4 aprile 1991

Unità 20 → attiva dal 2006

Corresponsabilità IECO-ELC nell'**ELABORAZIONE DEL PROGETTO ESECUTIVO** (sviluppato da 4 consorzi di società di ingegneria brasiliane e paraguaiane)

[illegible]

- progettazione esecutiva della deviazione
- progettazione esecutiva della diga in rockfill
- specifiche tecniche e gestione dei contratti di turbine, generatori, trasformatori principali, sottostazione GIS 500 kV e sottostazione margine destro 500/220 kV
- presenza in cantiere con team dedicato

- Uffici: Rio de Janeiro + Asuncion + Cantiere = da 200 a 300 persone

[illegible]

Il Libro definiva: procedimenti di invio e distribuzione della corrispondenza, fac-simile delle lettere per ogni argomento specifico, lingue da utilizzare (inglese, portoghese e spagnolo), il numero di copie, criteri per indire meeting e schema dei relativi verbali, ecc.

1980: incarico a IECO – ELC di attivare il **GRUPPO CONTROLLO QUALITÀ (GCQ)**, sotto la cui direzione tutta la documentazione di controllo qualità e le successive ispezioni in fabbrica dovevano essere fatte.

GCQ basato sulle Norme Canadesi CSA Z299.2

(già scelte negli anni 1970 da Ontario Hydro e AECL - Energie Atomic du Canada - come le standard di assicurazione qualità per il procurement di beni e servizi per i loro impianti nucleari)

Le norme canadesi furono adottate in quanto in quell'epoca esse rispondevano meglio di altre alle esigenze di ITAIPU.

CONTROLLO QUALITÀ APPARECCHIATURE ELETTROMECCANICHE

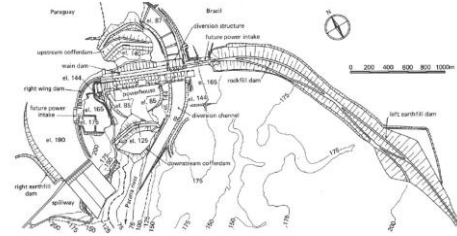


IMPOSTAZIONE E GESTIONE del GCQ sono state sviluppate sotto la direzione di personale ELC.

Le **ISPEZIONI IN FABBRICA** furono svolte da un centinaio di operatori brasiliani e paraguaiani in Brasile, Paraguay ed Europa. Nei casi più importanti (prove sul modello della turbina in Svizzera e sul forgiato dell'albero turbina in Giappone) partecipò direttamente il GCQ.

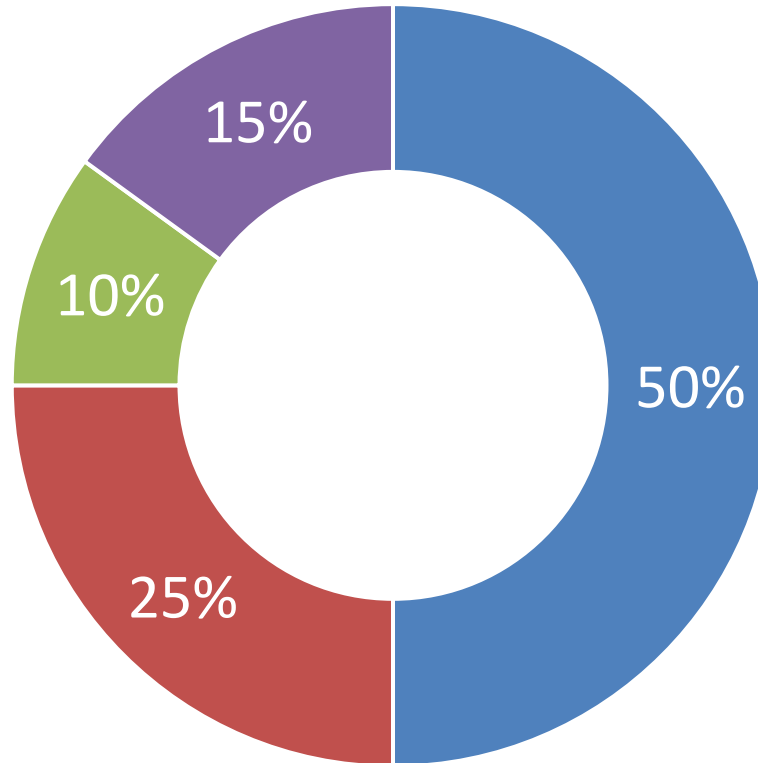
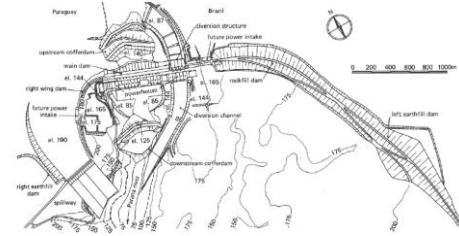
Il GCQ operava anche in **CANTIERE** con proprio personale, in particolare per la verifica delle saldature e l'addestramento dei saldatori.

ENERGIA PRODOTTA



Capacità Totale installata	14'000 MW
Produzione di energia (1984 – 2020)	2'764'589 GWh
Produzione media annua con 18 unità (1992-2005)	80'500 GWh
Produzione media annua con 20 unità (2007-2020)	85'544 GWh
Anno 2016: Record mondiale di produzione annua	103'098 GWh
Tempo di riempimento del serbatoio (quota 205.8 m)	15 giorni
Portata max scaricata dalle paratoie dello sfioratore	36'200 m ³ /s
Energia equiv. transitata da sfioratore nei primi 5 anni	500'000 GWh
Costo capitale dollari/kW (1990)	765
Costo energia prodotta	0,014 US\$/kWh

COSTI PROGETTUALI



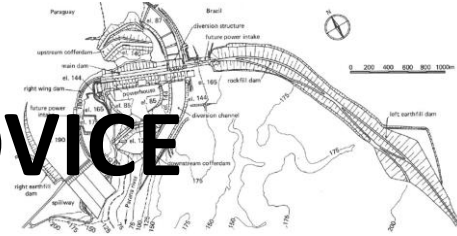
■ Opere Civili

■ Impianti Elettromeccanici

■ Infrastrutture

■ Ingegneria, Supervisione della Costruzione,
Amministrazione

INDEPENDENT TECHNICAL ADVICE

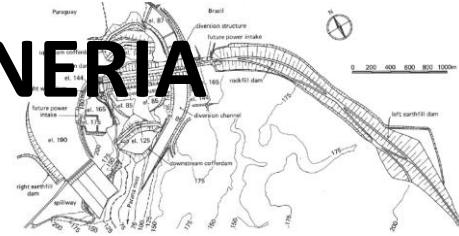


IECO-ELC presenti per tutta la durata del progetto (dal 1970 al 1995) fino ad oggi (**PANEL of EXPERTS**): capacità di gestire e **coordinare** più contrattisti, mantenimento di posizione **equilibrata** tra i Paesi (assicurando partecipazione equanime in scelte tecniche e gestionali).

IECO-ELC ha **coinvolto** nel progetto circa 20 espatriati di alto livello tecnico e gestionale, assicurando un **supporto continuo** delle rispettive case madri.

Essenziale il **ruolo del GCQ**: garantire qualità delle forniture elettromeccaniche (per la maggior parte prodotte in Brasile e Paraguay) e migliorare produzione di industrie locali.

IMPRONTA IN ITAIPU DELL'INGEGNERIA ITALIANA



Studio di Fattibilità: scelta finale tra diga a gravità o a gravità alleggerita al termine delle investigazioni geotecniche (allora in esecuzione)

Diga principale: gravità alleggerita con celle a doppio sperone (tipo Marcello), in alternativa alla diga tradizionale a gravità massiccia

Blocchi delle ali della diga principale: a singoli speroni

Dopo complessi e approfonditi **studi comparativi:** soluzione con diga a **gravità alleggerita** per la diga principale e a **speroni** per le ali

Vantaggi: riduzione di **calcestruzzo** 24% (1.64 Mm^3) e riduzione del tempo di **costruzione** 6 mesi

Hollow gravity and buttress dams

Solid gravity dam

Actual
(m³)

Estimated
(m³)

Savings
(m³)

Concrete	5.12×10^6	6.76×10^6	1.64×10^6
Formwork	1.25×10^6	1.04×10^6	-0.21×10^6
Excavation	1.96×10^6	1.60×10^6	-0.36×10^6

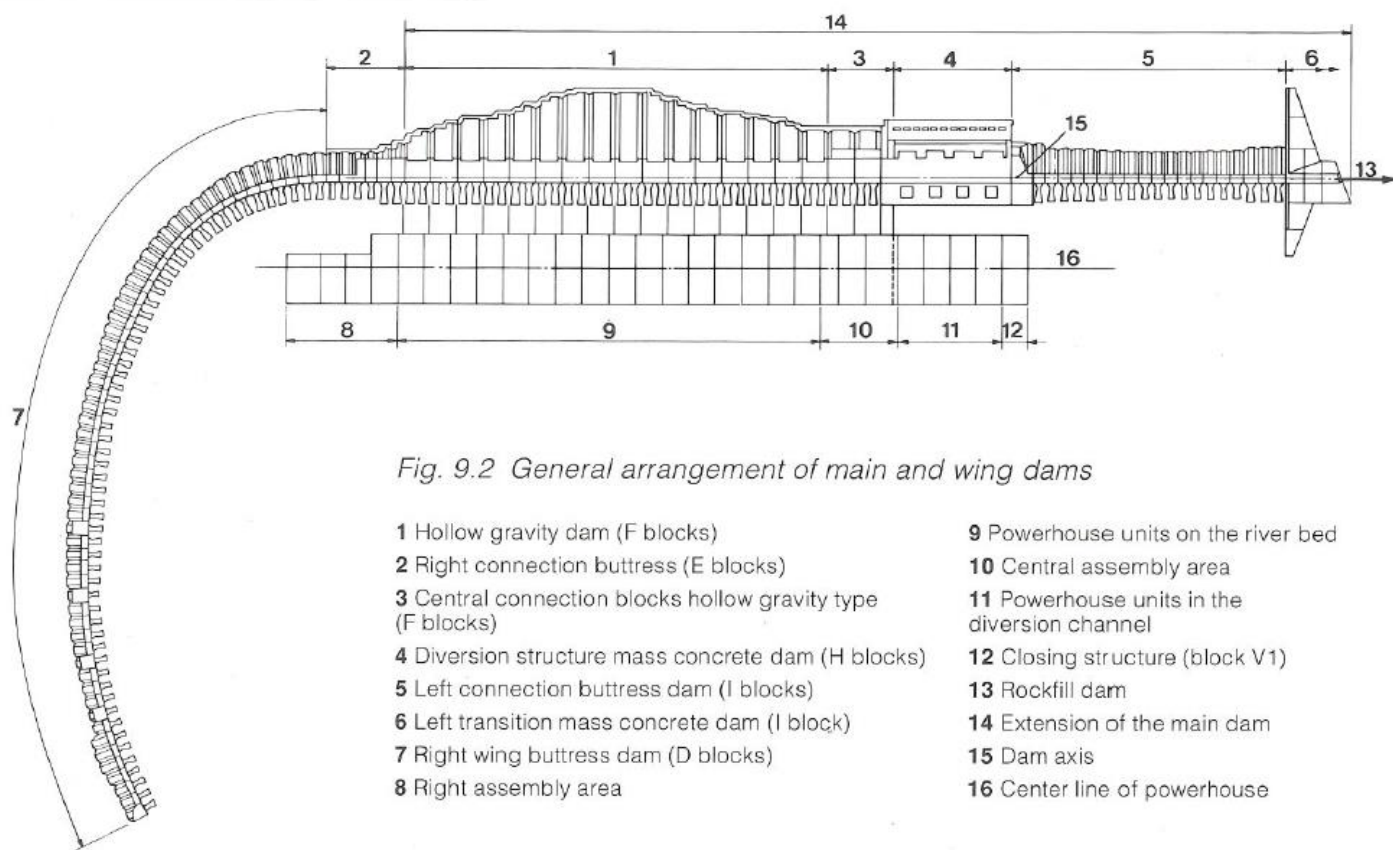
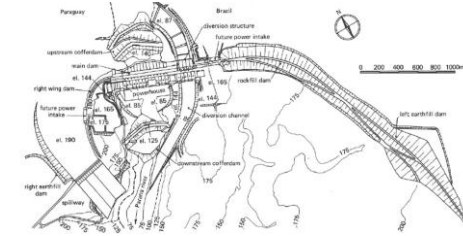
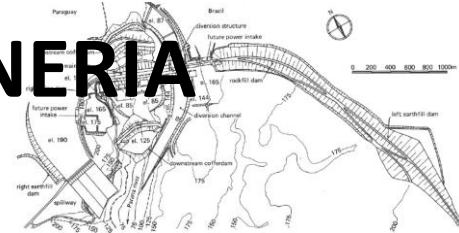


Fig. 9.2 General arrangement of main and wing dams

- 1 Hollow gravity dam (F blocks)
- 2 Right connection buttress (E blocks)
- 3 Central connection blocks hollow gravity type (F blocks)
- 4 Diversion structure mass concrete dam (H blocks)
- 5 Left connection buttress dam (I blocks)
- 6 Left transition mass concrete dam (I block)
- 7 Right wing buttress dam (D blocks)
- 8 Right assembly area
- 9 Powerhouse units on the river bed
- 10 Central assembly area
- 11 Powerhouse units in the diversion channel
- 12 Closing structure (block V1)
- 13 Rockfill dam
- 14 Extension of the main dam
- 15 Dam axis
- 16 Center line of powerhouse

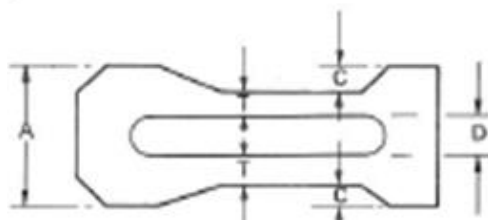
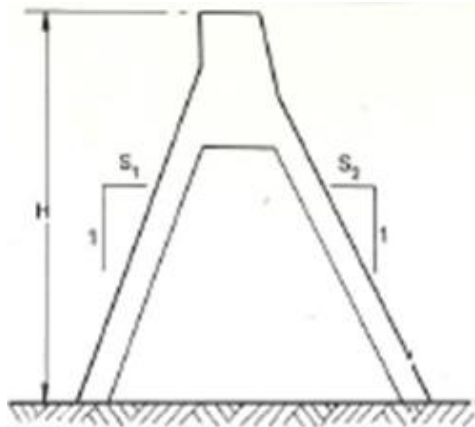
IMPRONTA IN ITAIPU DELL'INGEGNERIA ITALIANA



Diga principale

Diga tipo Marcello: soluzione poco conosciuta → 10 dighe a gravità alleggerita: 7 in Italia, la più alta in Spagna (130 m) - diga di Alcantara - costruita nel 1969.

Diga di Itaipu (alta da 100 m a 196 m): **+46% in altezza**

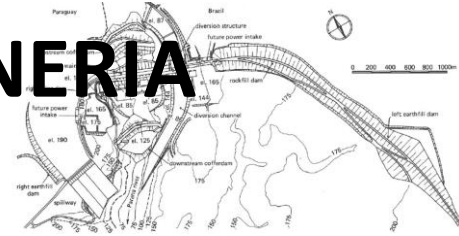


Dimensional data for some existing hollow gravity dams

Dam	Country	Year completed	Max. height H (m)	A (m)	S ₁	S ₂	C (m)	D (m)	T (m)	Hollowness index
Itaipu	Brazil/Paraguay	1982	190	34.0	0.58	0.46	4.8	12.4	6.0	0.57
Alcantara	Spain	1969	130	22.0	0.45	0.45	2.5	7.0	5.0	0.61
Ancipa	Italy	1952	112	22.0	0.45	0.45	3.5	7.0	4.0	0.55
Malga Bissina	Italy	1957	87	22.0	0.45	0.45	2.85	7.0	4.65	0.60
Latiyan	Iran	1967	87	28.0	0.45	0.48	5.38	5.75	5.75	0.56
Dixence	Switzerland	1937	81	26.0	0.04	0.81	4.00	8.00	5.00	0.60
Sabbione	Italy	1952	66	22.0	0.45	0.45	3.0	7.0	4.50	0.61
Pantano D'Avio	Italy	1956	65	22.0	0.45	0.45	2.88	7.0	4.62	0.61
Bau Muggieris	Sardinia	1949	63	22.0	0.45	0.45	3.5	7.0	4.0	0.57
Trona	Italy	1942	58	24.0	0.05	0.64	3.7	7.4	4.6	0.62
Inga	Zaire	1977	48	18.0	0.55	0.40	1.75	7.5	3.5	0.65

*These are of a different sub-type of hollow gravity from the other dams.

IMPRONTA IN ITAIPU DELL'INGEGNERIA ITALIANA



Il principale aspetto negativo sollevato dai Soci americani di ELC era che questo tipo di dighe a sperone era considerato dal settore delle costruzioni una struttura «**relativamente non convenzionale e complessa**».

Sondaggi presso le industrie di costruzioni: interesse e adeguatezza di tale tipologia per una costruzione rapida ed economica.

Analisi computazionali: metodi convenzionali + metodi a elementi finiti (FEM) + test su modelli strutturali realizzati in Italia da ISMES e in Brasile da IPT .

ASPETTI ECOLOGICI E AMBIENTALI

Caratteristiche del Lago:

- Lunghezza: 170 km
- Profondità: 170 m
- Volume: $29 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
- Superficie: $1'350 \text{ km}^2$
(Brasile: 780 km^2 , Paraguay: 570 km^2)
- $\frac{\text{Superficie Lago}}{\text{Potenza installata}} = 0.09 \text{ km}^2/\text{MW}$

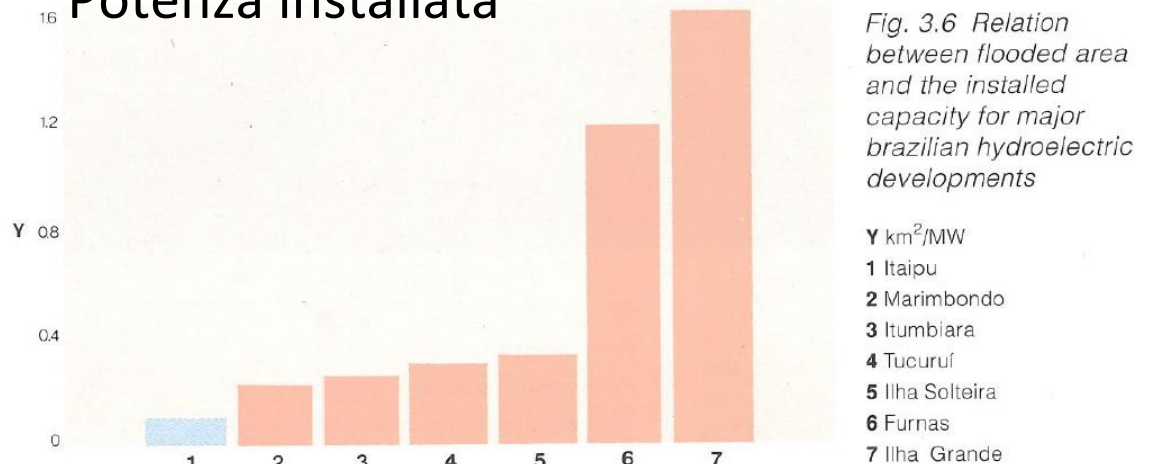
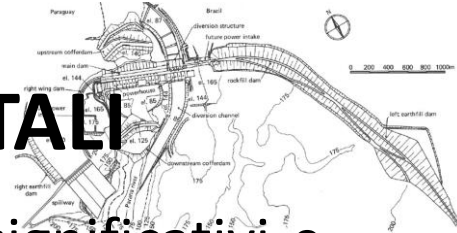


Fig. 3.6 Relation between flooded area and the installed capacity for major Brazilian hydroelectric developments

1973: Valutazione di impatto ambientale (IECO-ELC)

Rapporto «Riconoscimento dell'impatto ambientale del progetto»
presentato al Comitato Tecnico Congiunto Brasile-Paraguay

ASPETTI ECOLOGICI E AMBIENTALI



La formazione del lago ebbe **impatti ambientali** significativi e inevitabili:

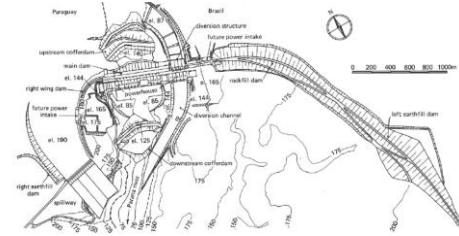
- Area sommersa 1'460 km²
- Sommersione della cascata Sete Quedas (Salto di Guairà)
- Riduzione dell'habitat
- Eliminazione di 700 km² di foresta vergine
- Inondazione di 600 km² di terreni agricoli
- Sommersione di aree abitate (65'000 persone sfollate)



Impatti considerati **ACCETTABILI** → CONTROMISURE specifiche
+ enorme quantità di ENERGIA GENERATA + BENEFICI SOCIALI
ed ECONOMICI

Compensazioni complessive pagate da Itaipu per l'acquisizione di aree ammontarono all'equivalente di **180 MUSD**.

TURISMO



Le facilities del progetto si sono dimostrate vere e proprie attrazioni turistiche:

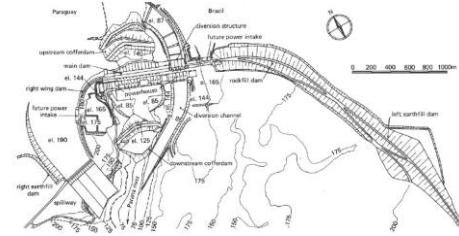
- serbatoio a livello costante e gestione delle sponde: **sviluppo di resort** con spiagge e marine, insediamento di alberghi, resorts, camping, sport e country clubs e altre facilities per il **tempo libero** come vela, sci acquatico e pesca sportiva
- vicinanza alle città di Foz do Iguaçu (258'000 ab), Ciudad del Este (391'000 ab) e Puerto Iguaçu (32'000 ab): maggiore e più **semplice accesso per i visitatori**
- vicinanza alle cascate di Iguaçu: **creazione di una regione turistica integrata** di assoluto livello internazionale

- è un impianto binazionale in territorio extraterritoriale
- è stato realizzato nei tempi previsti senza penalizzare la qualità
- è la centrale con il record mondiale di energia prodotta da un impianto idroelettrico in un anno (2016), 39 anni dopo il riempimento del serbatoio e 37 anni dall'entrata in produzione del primo gruppo
- produce energia a due frequenze diverse (50 Hz - Paraguay e 60 Hz - Brasile), trasmettendo il 50% dell'energia prodotta a 50 Hz in corrente continua a più/meno 600 kV a Sao Paulo

[illegible]

- 29

CONCLUSIONI 3/3

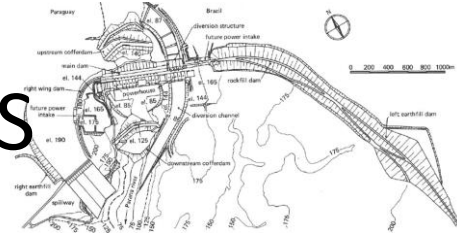


- ha contribuito allo sviluppo economico e sociale del territorio circostante di Brasile, Argentina e Paraguay grazie anche al turismo con visite abbinate alle cascate di Iguaçu
- ha dato al Paraguay un'indipendenza energetica a lungo termine e una fonte di reddito per molti anni a venire
- ha reso possibile un accordo tra i tre Paesi sulla gestione del fiume Paraná a valle di Itaipu, non scontato alla luce di altri progetti che coinvolgono più Paesi

ELC è stata determinante specialmente nella scelta del tipo di diga e nella gestione del GCQ.

- 32

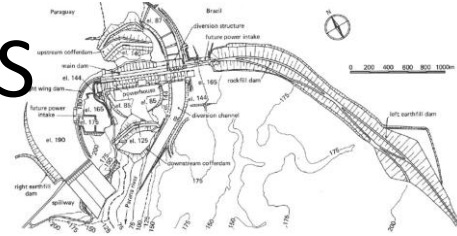
CIVIL CONSTRUCTION WORKS



- Main quantities
 - Concrete 12.3 Mm³
 - Earth excavation 23.6 Mm³
 - Rock excavation 32.0 Mm³
 - Rockfill 15.0 Mm³
 - Clay, aggregate, etc. 16.7 Mm³
- Diversion of the River – Diversion Channel
 - Discharge capacity 35'000 m³/s
 - Length / Bottom width / Maximum depth 2000 m / 150 m/ 90 m
 - Excavated volume 22.5 Mm³

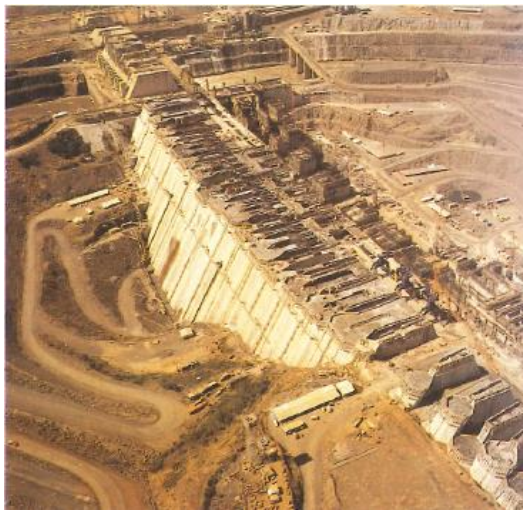
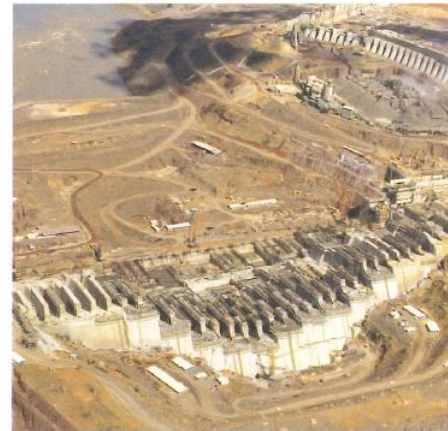
CIVIL CONSTRUCTION WORKS

Project structures



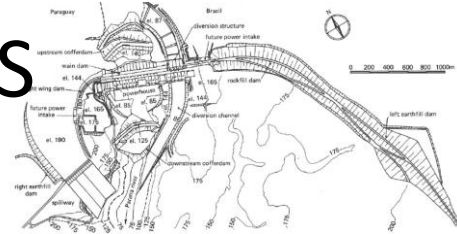
- Main Dam (concrete)

- Type Buttress and hollow gravity
- Crest Elevation 225 m
- Length of crest 1064 m
- Maximum height 196 m
- Rock excavation 2'200'000 m³
- Earth excavation 500'000 m³
- Concrete 5'300'000 m³



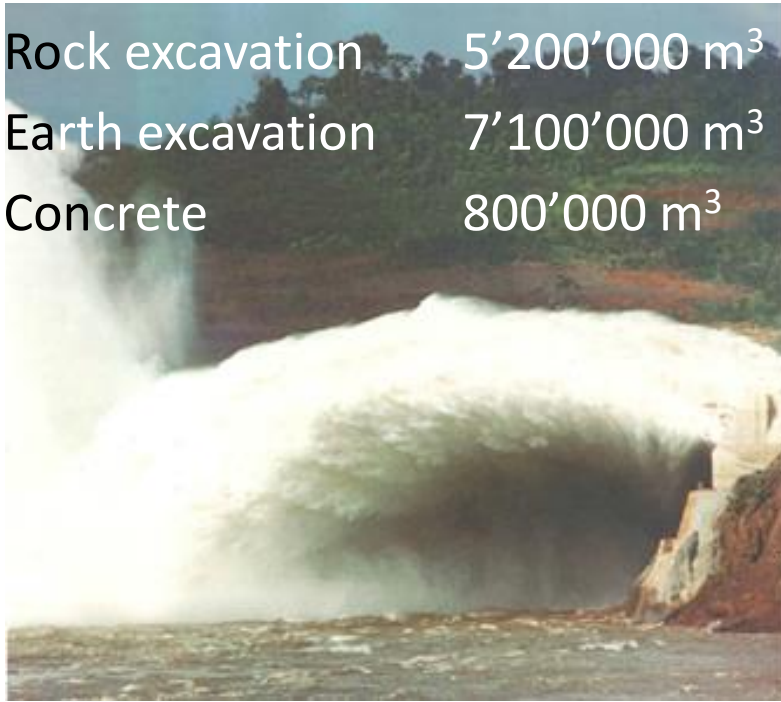
CIVIL CONSTRUCTION WORKS

Project structures



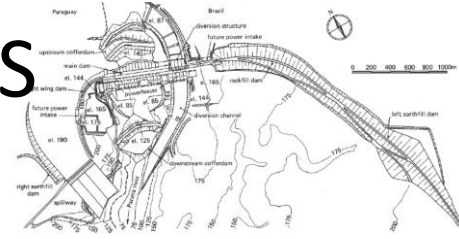
- Spillway

- Number of Blocks 15
- Crest Elevation 200 m
- Maximum height 44 m
- Total width 380 m
- Total length 483 m
- Rock excavation 5'200'000 m³
- Earth excavation 7'100'000 m³
- Concrete 800'000 m³



CIVIL CONSTRUCTION WORKS

Project structures



- Right Earthfill Dam

- Type Zoned
- Crest Elevation 225 m
- Length of crest 872 m
- Maximum height 25 m
- Total Volume of fill 400'000 m³



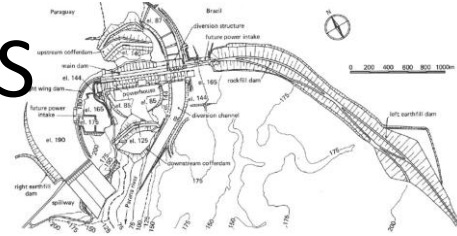
- Right-Wing Dam (concrete)

- Type Massive head buttress
- Crest Elevation 225 m
- Length of crest 986 m
- Maximum height 64.5 m
- Rock excavation 523'000 m³
- Earth excavation 950'000 m³
- Concrete 775'000 m³



CIVIL CONSTRUCTION WORKS

Project structures



- Rockfill Dam

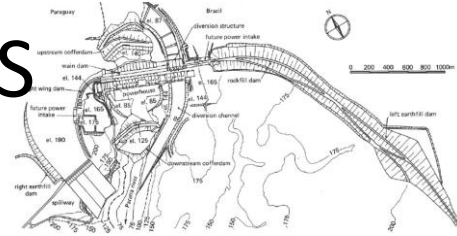
- Type Zoned
- Crest Elevation 225 m
- Length of crest 1984 m
- Maximum height 70 m
- Excavation for the foundations 5'100'000 m³
- Total Volume of fill 12'800'000 m³

- Left Earthfill Dam

- Type Zoned
- Crest Elevation 225 m
- Length of crest 2294 m
- Maximum height 30 m
- Total Volume of fill 4'400'000 m³

CIVIL CONSTRUCTION WORKS

Project structures



- Powerhouse (including erection areas)

- Length 968 m
- Width 99 m
- Maximum height 100 m
- Rock excavation 4'300'000 m³
- Earth excavation 1'200'000 m³
- Concrete 3'200'000 m³

