

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 56 (1978)

**Heft:** 2

**Artikel:** Prova di durata di batterie stazionarie con piastre a tubetti

**Autor:** Gerber, Theodor

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-875194>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 30.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Prova di durata di batterie stazionarie con piastre a tubetti

Theodor GERBER, Berna

621.355.2:620.169.1

## Lebensdaueruntersuchungen an Röhrenplatten-Akkumulatoren für stationären Betrieb

Zusammenfassung. Die vorliegende Arbeit betrifft Untersuchungen an Röhrenplatten-Akkumulatoren, wie sie bei den PTT-Betrieben für die Fernmelde-Gleichstromversorgung verwendet werden. Sie enthält Einzelheiten über den Einfluss der Betriebsspannung auf den Strom- und Wasserbedarf, auf die sogenannte Antimonvergiftung sowie auf Korrosions- und damit Alterungsvorgänge. Ferner werden Kriterien zur Ermittlung der optimalen Ladungserhaltungsspannung aufgestellt. Die Ergebnisse stützen sich auf Messungen und Untersuchungen, die während fast anderthalb Jahrzehnten unter Laboratoriumsbedingungen an einem Akkumulatorkollektiv durchgeführt wurden.

## Essais de durée de vie concernant des accumulateurs stationnaires à électrodes tubulaires

Résumé. Le présent article décrit les essais portant sur des accumulateurs à électrodes tubulaires, tels que les utilise l'Entreprise des PTT pour l'alimentation en courant continu de ses installations de télécommunication. L'auteur précise l'influence de la tension d'exploitation sur les besoins en courant et en eau, sur la dégradation par l'antimoine ainsi que sur les phénomènes de corrosion (vieillesse). On établit, d'autre part, des critères servant à déterminer la tension optimale de maintien de la charge. Les résultats découlent de mesures et d'essais effectués en laboratoire sur un groupe d'accumulateurs pendant près de quinze ans.

Riassunto. Il presente saggio si riferisce a prove eseguite su accumulatori con placche tubolari e dimostra come quest'ultimi sono impiegati dall'Azienda svizzera delle PTT per l'alimentazione a corrente continua degli impianti delle telecomunicazioni. Sono inoltre descritte le particolarità relative all'influsso della tensione d'esercizio sul fabbisogno di corrente elettrica e di acqua, sulla cosiddetta degradazione a causa dell'effetto provocato dall'antimonio, come pure sui processi di corrosione e con ciò di invecchiamento. Vengono poi elencati i criteri necessari per la determinazione della tensione ottimale di mantenimento della carica. I risultati si basano su misurazioni ed esami che sono stati eseguiti in laboratorio durante quasi quindici anni su gruppi di accumulatori.

## 1 Introduzione

Attualmente tutta l'energia elettrica richiesta dagli impianti di telecomunicazione dell'Azienda svizzera delle PTT viene fornita esclusivamente da accumulatori stazionari, con piastre a tubetti. Si tratta di elementi al piombo-acido aventi piastre positive costituite da tubetti di plastica o di lana di vetro, riempiti di materia attiva. Ogni tubetto contiene una spina di piombo conduttrice di corrente. Le piastre negative sono del tipo normale a griglia; la materia attiva è compressa tra le maglie della griglia. Le piastre positive e negative sono separate da un diaframma di resina.

Con l'introduzione di questo tipo di elemento 25 anni fa, la questione del valore ottimale della tensione di tampone della batteria è tornata di attualità. La pratica generalmente accettata è quella di caricare in tampone a tensione costante. Diversi studi [1, 2, 3] hanno mostrato che la tensione più favorevole è compresa tra 2,18 e 2,23 V  $\pm$  1...2 %. Alcuni risultati si basavano però su osservazioni eseguite a brevi intervalli di tempo. In taluni casi la capacità della batteria era stata ripetutamente verificata ad intervalli di pochi mesi e per questo motivo è difficile pensare che il funzionamento fosse unicamente di tampone.

L'Azienda svizzera delle PTT aveva già intrapreso uno studio per determinare il valore ottimale della tensione di carica di tampone di batterie con piastre tubolari, sulla base di osservazioni condotte per un periodo di 5 anni [4]. Durante tale periodo il numero di verifiche disturbatrici era stato ridotto al minimo. Questa prova era intesa come una prova di durata spinta fino al cedimento completo di tutti gli elementi [5]. Oltre alla informazione sulla tensione ottimale, la prova doveva fornire anche i dati, riferiti a tempi lunghi, sull'andamento della capacità, delle correnti di carica di tampone, della resistenza dell'elemento, della variazione della composizione dell'elettrolito e naturalmente sulla durata. Il presente articolo contiene tutti i risultati più importanti di questa prova. Poiché l'argomento delle variazioni delle

caratteristiche per tempi lunghi non è trattato in modo esauriente nella letteratura tecnica, questo articolo potrebbe essere utile sia per i costruttori che per gli utenti nonché per il personale addetto alla manutenzione.

Per completezza è utile ricordare che la tensione di 2,23  $\pm$  1 % per elemento, specificato per le batterie stazionarie, deve essere considerato come un valore di compromesso tra quello ideale di carica in tampone e quello di 48 V nominali. Esso risulta dal rapporto tra una tensione di funzionamento leggermente superiore (U = 49 V) e un numero di elementi N = 22 e cioè da  $\frac{U}{N} = 2,227 \approx 2,23$  V/elemento. Nella parte conclusiva (paragrafo 8) verrà presa in esame la possibilità di una tensione di funzionamento più bassa.

## 2 Materiali sottoposti alla prova, condizioni di prova e dati acquisiti

Le prove sono state condotte su normali batterie con piastre positive tubolari del tipo impiegato nei servizi di telecomunicazione dell'Azienda svizzera delle PTT. Le batterie erano così costituite:

24 batterie da 3 elementi ciascuna, da 20 Ah di capacità nominale

6 elementi singoli, da 600 Ah di capacità nominale  
Densità dell'acido: 1,24 g/cm<sup>3</sup>

In accordo con la norma per i casi di elementi con positive tubolari, le griglie negative, le spine delle piastre positive e le altre parti conduttrici erano in lega di piombi-antimonio, responsabile della cosiddetta contaminazione da antimonio. I contenuti di antimonio erano:

8,0...11,5 % nelle spine delle piastre positive  
6,5...8,5 % nelle griglie negative

Anno di fabbricazione: 1960

Tutte le batterie e gli elementi erano collegati ad una alimentazione a tensione costante. Le batterie da 20 Ah

erano divise in 6 gruppi con le seguenti tensioni per elemento:

2,15 V, 2,20 V, 2,25 V, 2,30 V, 2,35 V, 2,40 V

Gli elementi da 600 Ah erano stati inizialmente collegati a 2,30 V e quindi a 2,20 V. La variazione media della tensione era di  $\pm 5...8$  mV/elemento.

La temperatura dell'ambiente era mantenuta termostaticamente a 20° C. Periodicamente venivano rilevati i seguenti dati: capacità (alla corrente di scarica I, pari numericamente a  $1/10$  della capacità nominale), due volte all'anno nei primi 5 anni, quindi una volta all'anno; tensione degli elementi, corrente a tensione costante; resistenza interna degli elementi, concentrazione dell'acido; consumo di acqua; contenuto di acido perclorico nell'elettrolito.

Dopo il cedimento gli elementi venivano smontati, alcuni di essi appena prima del termine della prova, per esaminare il loro stato interno. I risultati pubblicati si basano generalmente su un gruppo di batterie da 20 Ah unicamente perchè soltanto su di esse è stato possibile eseguire la misura relativa alla loro dipendenza della tensione. Comunque viene indicato il diverso comportamento dei vari tipi di elementi, specialmente quando esiste una correlazione tra durata e caratteristiche.

### 3 Capacità e tempo

La figura 1 illustra la variazione della capacità in funzione del tempo per le 6 tensioni di prova. Si può vedere che la capacità massima, per le tensioni da 2,4 a 2,2 V, aumenta con il diminuire della tensione. Aumenta anche il tempo trascorso prima che la capacità scenda al 50 % del suo valore iniziale. In questa prova il raggiungimento del 50 % determina la fine della vita della batteria. Per la tensione di 2,15 V ciò comporta una durata di 2 anni (curva «normale» a sinistra nel diagramma).

Ricaricando dopo scariche profonde, la durata di questi elementi può essere aumentata fino ad un massimo

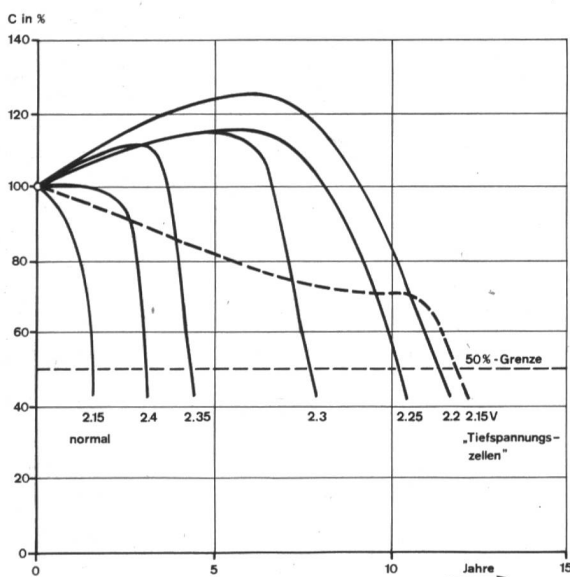


Fig. 1  
Andamento della capacità per diverse tensioni  
Tiefspannungszellen — Elementi a bassa tensione  
Jahre — Anni  
50%-Grenze — Limite 50 %  
Normal — Normale

di 4 anni (eliminando la solfatazione). La curva a tratti per 2,15 V si riferisce ai cosiddetti «elementi a bassa tensione» caratteristici di certi tipi di batterie.

Tabella I. Capacità, durata e fattore di qualità

U Volt	$\bar{C}$ %	$C_{max}$ %	$t_{c=max}$ Anni	$t_{c=50\%}$ Anni	$t_{N=50\%}$ Anni	$Q = \bar{C} \cdot t_{c=50\%}$
2,15 normale	90	100	0	2	2	2,0
2,15 speciale	80	100	0	12	8	9,5
2,20	108	124	7	11	11	12,0
2,25	105	116	7	10	10	10,5
2,30	104	115	4	8	7	8,0
2,35	103	111	3	4	5	4,5
2,40	96	110	0	3	3	3,0

Nella tabella I sono raccolti i seguenti dati:

- $\bar{C}$  capacità media durante il periodo di prova
- $C_{max}$  capacità massima
- $t_{c=max}$  tempo richiesto per raggiungere  $C_{max}$
- $t_{c=50\%}$  tempo richiesto per raggiungere la metà della capacità iniziale (durata)
- $t_{N=50\%}$  tempo trascorso fino al cedimento del 50 % degli elementi
- Q fattore di qualità  $Q = \bar{C} \cdot t_{c=50\%}$

Come si può vedere dalla figura 2 il particolarmente significativo fattore di qualità Q raggiunge il massimo in corrispondenza di 2,20 V.

### 4 Relazione tra corrente e tensione — effetto dovuto all'antimonio

A causa della contaminazione da antimonio, già nominata, la corrente necessaria per mantenere costante una data tensione aumenta in modo notevole con il tempo. Nella tabella II si riportano i valori di corrente riferiti a una capacità iniziale  $C_0 = 1$  Ah. La figura 3 li riporta in funzione del tempo (con la tensione come parametro), mentre la figura 4 mostra la loro dipendenza dalla tensione (con l'età come parametro).

La linea ausiliaria a tratti si riferisce a un raddoppio della corrente per ogni aumento di 50 mV della tensione. Si noti che per un largo campo di valori la famiglia di curve ha quasi la stessa pendenza di quella della linea ausiliaria per cui l'effetto «raddoppio» può ritenersi valido per un buon numero di condizioni. Per gli elementi

Tabella II. Corrente in funzione della tensione dell'elemento e della età della batteria

Tempo in anni	Corrente in mA/Ah a diverse tensioni (V)						
	Normale 2,15	Speciale 2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40
0	0,15	0,10	0,35	0,55	1,0	2,0	3,5
1	0,20	0,15	0,50	0,85	1,8	3,9	8,0
2	0,30	0,20	0,65	1,3	3,0	7,4	25
3	0,40	0,25	0,85	1,7	4,5	12	50
4	0,50	0,29	1,0	2,0	5,9	19	~100
5	0,60	0,30	1,1	2,3	7,4	30	—
6	—	0,32	1,2	2,6	9,0	40	—
7	—	0,33	1,3	2,9	11	—	—
8	—	0,35	1,5	3,4	14	—	—
9	—	0,38	1,7	4,0	17	—	—
10	—	0,42	2,0	4,8	20	—	—
11	—	0,50	2,6	5,8	25	—	—
12	—	0,60	3,3	7,2	30	—	—
13	—	0,70	4,5	~10	—	—	—

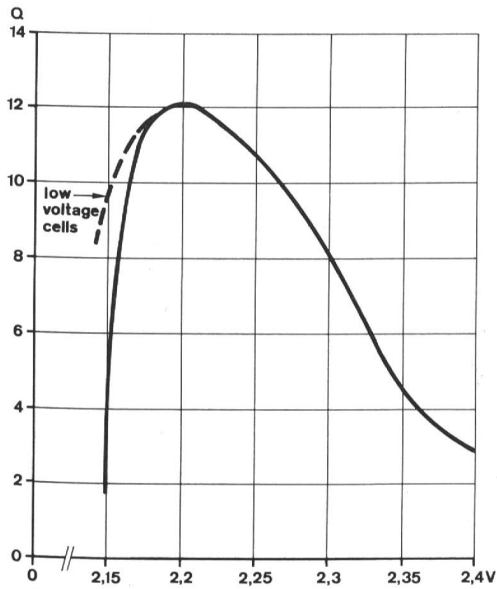


Fig. 2  
Il fattore di qualità Q in funzione della tensione dell'elemento  
Low voltage cells — Elementi a bassa tensione

più grandi (600 Ah) si è trovato che un aumento di 50 mV della tensione fa aumentare la corrente di 1,5 volte.

È ben noto che l'entità della contaminazione da antimonio e quindi l'aumento della corrente, dipende dalla durezza delle piastre negative. Nella parte superiore della figura 5 è mostrato l'andamento della corrente riferita a elementi con piastre negative molto morbide ottenute usando degli expanders molto efficaci. La parte inferiore si riferisce a piastre che sono rimaste molto dure perchè non contengono expanders o ne contengono molto poco. Il contenuto di antimonio è eguale in entrambi i casi e cioè 8% nelle piastre negative e il 10...11% nelle spine delle piastre positive. Un confronto

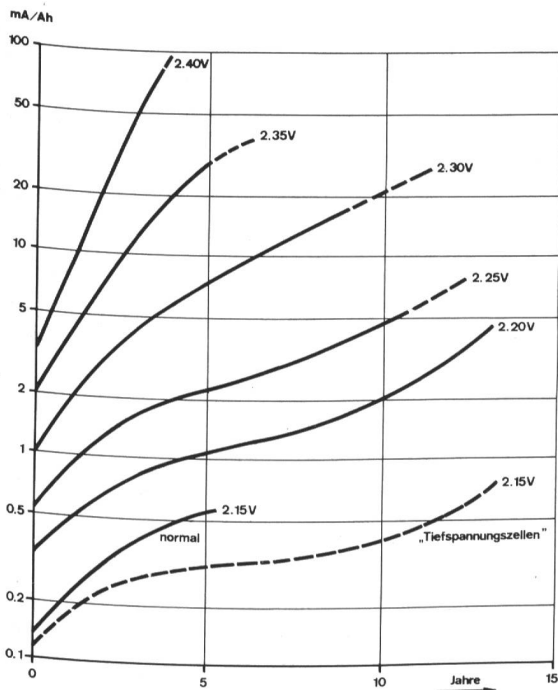


Fig. 3  
Andamento nel tempo delle correnti in funzione della tensione  
Tiefspannungszellen — Elementi a bassa tensione  
Jahre — Anni  
Normal — Normale

tra le due zone, valido per il campo di tensioni di 2,20...2,25 V, rivela che la corrente che si riferisce agli elementi con piastre morbide è mediamente doppia di quella che si riferisce agli elementi con piastre dure. La tabella III riporta alcuni valori rappresentativi.

Tabella III. Correnti dovute alla contaminazione da antimonio riferite a piastre negative morbide e dure valide per 2,20 V

Età in anni	$I_{\text{morbide}}$ mA/Ah	$I_{\text{dure}}$ mA/Ah	Rapporto $I_{\text{morbide}}/I_{\text{dure}}$
1	0,61	0,40	1,5
3	1,16	0,61	1,9
6	1,80	0,82	2,2
9	2,73	1,09	2,5
12	5,06	1,96	2,6

Dai tassi di aumento delle correnti si possono ricavare altre informazioni sullo «stato di salute» degli elementi. I tassi di aumento mostrati nella figura 6 sono stati ottenuti come rapporti differenziali.

L'aumento durante i primi anni è dovuto alla contaminazione da antimonio. In una seconda fase si nota una marcata diminuzione per quanto riguarda le tensioni inferiori a 2,30 V mentre per le tensioni superiori a 2,30 V, l'aumento continua fino al cedimento completo degli elementi. Dopo 5...6 anni i tassi di aumento crescono anche per le tensioni inferiori a 2,30 V e l'aumento diventa rapido come all'inizio. Ciò è dovuto ad una estesa contaminazione da antimonio, alla corrosione e alla solfatazione.

Le tensioni ottimali di carica di conservazione si possono già ricavare dalle curve cosiddette di corrente relativa, dopo solo 1 o 2 anni di prova. Per questo occorrono accurate misure della corrente durante il funzionamento a pura tensione costante ciò che si può ottenere sol-

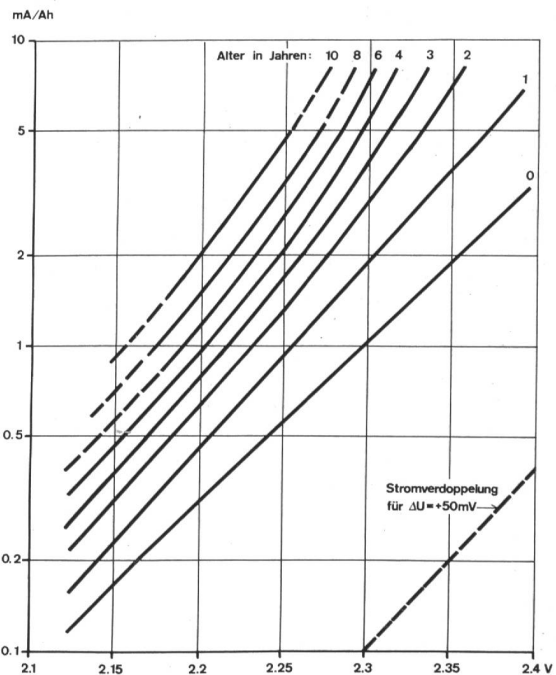
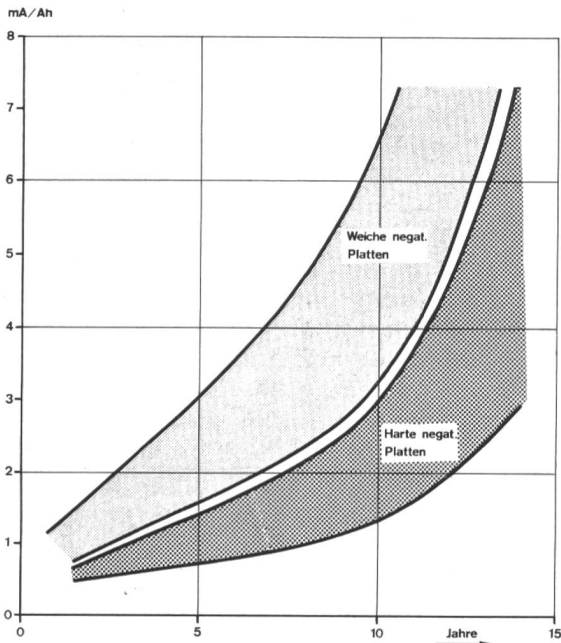


Fig. 4  
Correnti in funzione della tensione per diversi gruppi di età  
Alter in Jahren — Età in anni  
Stromverdoppelung für  $\Delta U = +50$  mV — Raddoppio della corrente per  $\Delta U = +50$  mV



**Fig. 5**  
**Effetto della contaminazione da antimonio su piastre negative morbide e dure: andamento della corrente per tensioni di 2,20...2,25 V**  
 Weiche negative Platten — Piastre negative morbide  
 Harte negative Platten — Piastre negative dure  
 Jahre — Anni

tanto in condizioni di prova di laboratorio. Questa corrente relativa viene definita come

$$I_{rel}(U) = \frac{I_t(U)}{I_o(U)}$$

dove:

$I_t$  corrente al tempo  $t > 0$

$I_o$  corrente al tempo  $t = 0$

La grandezza  $I_{rel}$ , in funzione della tensione, usando l'età come parametro, ha l'andamento di una parabola, come è mostrato dalla *figura 7*.

Per gli accumulatori provati, i minimi di queste curve giacciono in corrispondenza di un valore che è molto prossimo a 2,20 V. È logico pensare che questo valore corrisponda allo stato stazionario degli elementi cioè che rappresenti la tensione ottimale. È il caso di notare che i già menzionati «elementi a bassa tensione» presentano dei minimi molto piatti in corrispondenza di un valore compreso tra 2,15 e 2,20 V e ciò fa pensare che questi elementi potrebbero funzionare a tensioni più basse.

## 5 Resistenza interna

Alla domanda se le misure della resistenza interna possono fornire una indicazione sulla possibile data di cedimento degli elementi (come conseguenza di una diminuita capacità) è possibile rispondere nel seguente modo: nel caso degli elementi piccoli la resistenza tendeva ad aumentare solo verso la fine della loro vita. Se la resistenza continuava ad aumentare in modo marcato, ciò significava che gli elementi avevano già ceduto per danni dovuti alla corrosione. Nel caso degli elementi grandi la resistenza saliva molto decisamente fino al limite del 50 % della capacità, con un rapporto di 1,1 nel caso di rapida diminuzione della capacità e con un rap-

porto di 1,5 nel caso di perdita di capacità più lenta, per esempio di una perdita di capacità che si verificava nel giro di 3 anni.

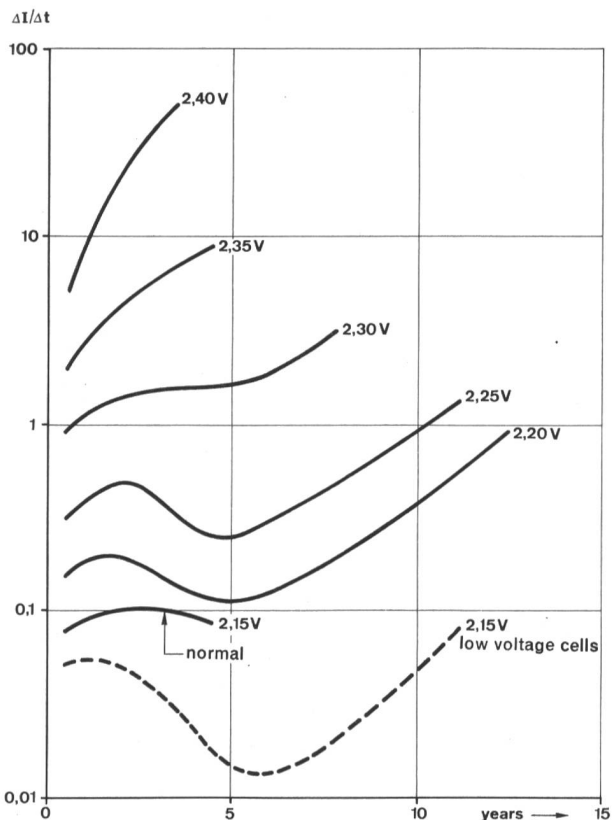
## 6 Consumo di acqua, densità dell'acido, contenuto in acido perclorico

La *tabella IV* fornisce i consumi annuali di acqua riferiti a un elemento di capacità  $C_o = 1$  Ah. Poiché i contenitori sono chiusi non si ha evaporazione e l'acqua si consuma solo per elettrolisi. Si trova che la dipendenza dalla tensione e dall'età è la stessa che per la corrente come è mostrato nelle figure 3 e 4. Anche qui è approssimativamente valida la regola del raddoppio per ogni  $\Delta U = +50$  mV.

**Tabella IV.** Consumo di acqua

Età in anni	Consumo di acqua in cm <sup>3</sup> /Ah per elemento e per anno alla tensione per elemento (V)					
	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40
1	1,5	2,0	3,0	5	10	20
2	2,5	3,5	4,5	9	20	40
3	3,0	4,0	6,0	13	40	120
4	3,5	4,5	6,0	17	60	200
5	3,0	4,0	6,5	22	90	—
6	(2,5)	3,5	6,5	27	—	—
7	(2,0)	3,5	6,5	33	—	—
8	(1,5)	3,5	7,0	40	—	—
9	(1,3)	3,5	8,0	—	—	—
10	(1,2)	4,0	10	—	—	—
11	(1,1)	5,5	15	—	—	—
12	(1,0)	8,0	20	—	—	—
13	—	13	30	—	—	—

I valori tra parentesi si riferiscono solo agli «elementi a bassa tensione»



**Fig. 6**  
**Tasso annuale di aumento delle correnti**  
 Low voltage cells — Elementi a bassa tensione  
 Years — Anni  
 Normal — Normale

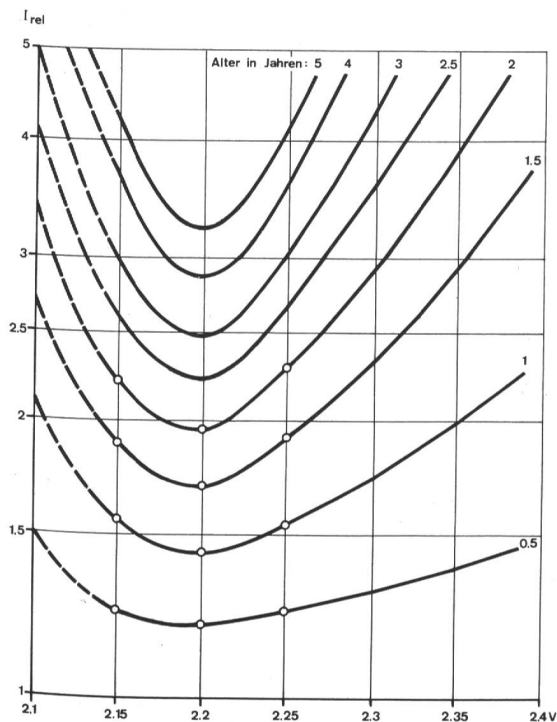


Fig. 7  
Correnti relative in funzione della tensione per diverse età  
Alter in Jahren — Età in anni

La densità dell'acido in funzione del tempo ha un andamento simile a quello della capacità (figura 8). Dopo un aumento iniziale della densità, specialmente alle tensioni più alte, dovuto a una progressiva formazione della materia attiva, si ha una diminuzione come conseguenza della diminuita capacità, cioè della progressiva inattivazione della materia attiva.

L'ossigeno nascente che si produce costantemente durante il funzionamento in carica floating attacca il PVC dei tubetti e dei separatori e produce acido perclorico ( $\text{HClO}_4$ ). Durante la prova veniva periodicamente misurato il contenuto di acido perclorico dell'elettrolito. La figura 9 mostra che anche nel caso della tensione più favorevole (2,20 V) non è insolito trovare da 1000 a 3000 ppm di  $\text{HClO}_4$  in presenza di PVC carico di cloro. Se si usa PVC duro, poliestre o terilene con fibra di vetro, il contenuto in  $\text{HClO}_4$  rimane basso: nel caso degli elementi provati il contenuto di  $\text{HClO}_4$  è risultato

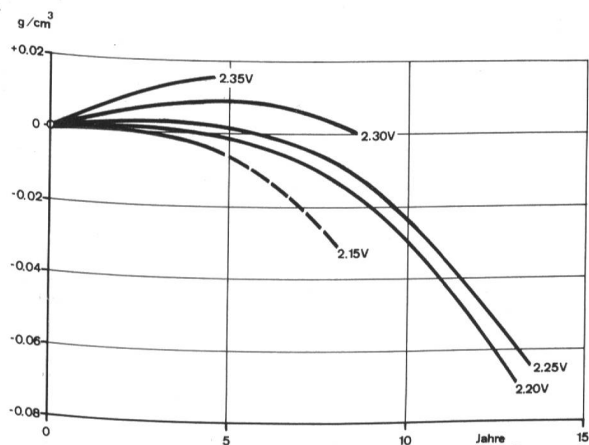


Fig. 8  
Variazioni del peso specifico dell'acido  
Jahre — Anni

100...200 ppm, cioè 10 volte più piccolo. L'effetto corrosivo dell'acido perclorico sarà discusso nel paragrafo seguente.

## 7 Esame qualitativo degli elementi smontati

Dopo lo smontaggio, che di regola veniva eseguito su tutti gli elementi che avevano ceduto ma anche, per avere ulteriori informazioni, su elementi ancora funzionanti, si esaminavano i seguenti particolari:

- Stato di separatori
- Stato delle piastre negative
- Stato dei tubetti
- Grado di corrosione delle spine di piombo
- Grado di corrosione delle parti positive immerse nell'acido
- Quantità del fango depositato

Tra i numerosissimi risultati, i più significativi sono stati i seguenti:

In tutti gli elementi i separatori rimanevano in perfetto stato. Essi riuscivano a impedire il depositarsi del fango anche quando le piastre negative erano molto gonfiate e i tubetti erano rotti. Per questa ragione diventava superflua ogni altra informazione sul deposito di fango.

Per quanto riguarda le piastre negative, la perdita di capacità poteva essere attribuita alla solfatazione (a 2,15 V), allo indurimento (nel caso di presenza di expanders poco efficaci) oppure all'eccessivo rigonfiamento (nel caso di una quantità esuberante di expander). Per quanto riguarda le piastre positive i fattori responsabili dei cedimenti erano la rottura dei tubetti (con

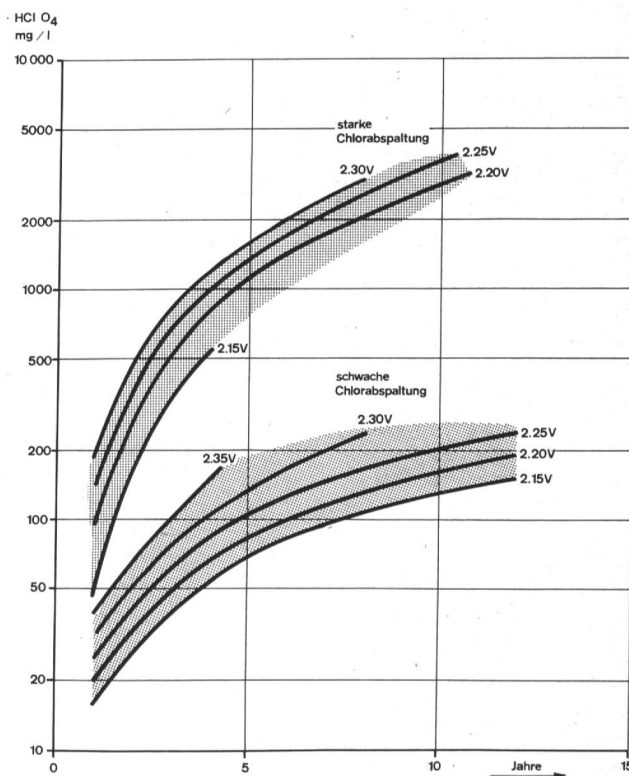


Fig. 9  
Contenuto in acido perclorico  
Starke Chlorabspaltung — Forte formazione di cloro  
Schwache Chlorabspaltung — Debole formazione di cloro  
Jahre — Anni

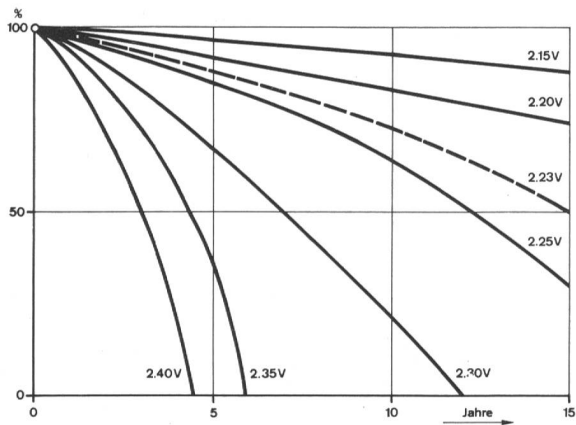


Fig. 10  
Variazione relativa del diametro delle spine di piombo  
Jahre — Anni

perdita della materia attiva), delle spine di piombo o la corrosione delle parti conduttrici (specialmente delle alette). I danni ai tubetti e alle piastre positive sono riassunti nella *tabella V*.

La riduzione della sezione trasversale delle spine di piombo può essere valutata quantitativamente come è mostrato nella *figura 10*. In corrispondenza di 2,23 V (valore interpolato) e dopo 15 anni di funzionamento il diametro si riduce a metà di quello originale ciò che può essere considerato come il minimo ammissibile.

Nella *tabella VI* sono riassunti gli effetti corrosivi dell'acido perclorico, quando la sua concentrazione è alta.

La *figura 11* illustra le condizioni dell'attaccatura delle piastre positive di un elemento da 600 Ah dopo tre anni di funzionamento a 2,3 V. A quel momento la concentrazione di  $\text{HClO}_4$  era salita a 600 ppm. Un primo spesso strato di ossido si era già staccato e un secondo si stava già formando. Con un contenuto in  $\text{HClO}_4$  di 300 ppm il primo strato aveva già cominciato a staccarsi. In un altro

Tabella V. Danni riscontrati ai tubetti e alle alette delle positive alle diverse età di funzionamento

Tensione Volts	Età anni	Stato dei tubetti	Stato delle alette delle piastre
2,15	12	Nessun danno	Si stacca un primo strato di ossido
2,20	8	In parte intatti In parte rotti	Si stacca un primo strato di ossido
	12	Per la maggior parte rotti	Alette fortemente corrose; alcune sono spezzate
2,25	7	Alcuni sono rotti	Si stacca un primo strato di ossido
	10	Quasi tutti rotti	Si stacca un secondo strato di ossido
	14	Tutti scoppiati	La maggior parte delle alette sono rotte
2,30	5	In parte intatti In parte rotti	Si staccano parecchi strati di ossido
	10	Quasi tutti scoppiati	Per la maggior parte sono interamente corrose
2,35	3	In parte rotti In parte scoppiati	Si staccano parecchi strati di ossido
	6	Tutti rotti	La maggior parte delle alette sono interamente corrose
2,40	3	Tutti scoppiati	Parte delle alette, fortemente corrose, si spezzano

Tabella VI. Formazione di strati di ossido sulle alette delle piastre positive per diverse concentrazioni di acido perclorico

Tensione Volts	Età anni	Basso ppm	Contenuto di $\text{HClO}_4$ Grado di corrosione	Alto ppm	Contenuto di $\text{HClO}_4$ Grado di corrosione
2,3	0,5	—	—	120	Si forma un primo strato di ossido
2,3	1	40	Leggera ossidazione	200	Si distacca il 1° strato di ossido
2,3	3	80	Si forma un primo strato di ossido	600	Si forma un 2° strato di ossido
2,2	5	110	Si distacca il 1° strato di ossido	1000	Si distacca il 2° strato di ossido

elemento, con una concentrazione di  $\text{HClO}_4$  di solo 80 ppm dovuta a una minore contaminazione da antimonio e con la corrente ridotta alla metà, alla stessa si era formato uno strato di ossido molto sottile ed aderente.

## 8 Conclusioni

Gli esperimenti hanno fornito alcuni risultati rilevanti. I più importanti sono:

- Tra i 6 valori di tensione usati per i diversi gruppi di batterie il valore di 2,20 V si è dimostrato il più favorevole. Ciò è valido per la densità dell'acido di 1,24 g/cm<sup>3</sup>. I criteri più importanti per determinarlo sono stati: andamento della capacità, durata e fattori di qualità (paragrafo 3), andamento delle correnti di carica di conservazione (paragrafo 4), risultati dello smontaggio (paragrafo 7).
- Il limite superiore che si prescrive per la tensione per elemento di 2,23 ± 1 % V (che quindi può diventare 2,25 V) si è dimostrato in definitiva troppo elevato.
- Rimane ancora da dimostrare se le condizioni di funzionamento possono permettere la riduzione della tensione media a 2,20 V o anche a 2,18 V. Si tratta di vedere se è possibile passare da 22 a 23 elementi negli impianti a 48 V.
- Inoltre potrebbe essere possibile abbassare la densità da 1,24 a 1,21 g/cm<sup>3</sup>. I vantaggi potrebbero essere: tensione di carica di conservazione più bassa, corrente più piccola e quindi invecchiamento più lento.
- Da un punto di vista elettrochimico la tensione ottimale sarebbe 2,18 V per una densità dell'acido di 1,24 g/cm<sup>3</sup> [6, 7]. Una tensione così bassa potrebbe andare bene se tutti gli elementi collegati in serie fossero omogenei con differenze di tensione inferiori a 10 mV. Per quanto riguarda le piastre negative questa

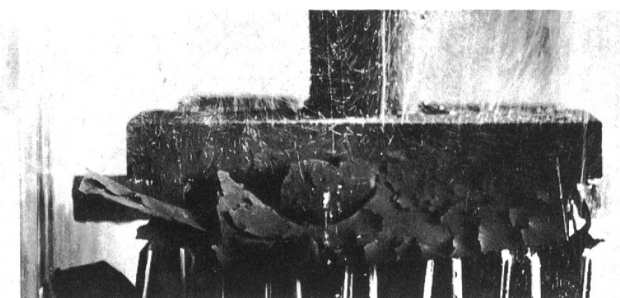


Fig. 11  
Strato di ossido che si stacca dalla striscia di collegamento delle piastre positive

omogeneità deve essere raggiunta. Tra i miglioramenti dei processi produttivi nel caso che non fossero già adottati, si possono ricordare i seguenti.

- Ottimizzazione della composizione della massa positiva (rapporto tra polvere di piombo e minio) per ridurre la pressione sui tubetti che progredisce con l'età.
- Nessun o possibilmente debole percentuale di acido perclorico dell'elettrolite (mass. 200 ppm., paragrafi 6 e 7).
- Usare piombo con la minima quantità possibile di antimonio come componente della griglia oppure usare una lega con un metallo diverso (paragrafo 4).
- Ottimizzare la durezza delle piastre negative al fine di ridurre la contaminazione da antimonio (paragrafo 4).
- Sviluppare «elementi a bassa tensione» (paragrafi 3 e 4) che a 2,17 e 2,18 V non si solfatinò troppo presto.

Infine ricordiamo che negli impianti di energia è desiderabile anche un altro miglioramento e cioè la possibilità di disporre di una tensione che rimanga calibrata nel tempo e al variare del carico con una precisione del  $\pm 0,25$  %.

#### Riferimenti

- [1] *Vetter J.* Vollautomatische Pufferung von Batterien in Wählerämtern. Braunschweig, Fernmeldetechn. Zeitschrift 4 (1951) Nr. 11, S. 498...504.
- [2] *Bergtold F.* Schwebeladung — der moderne Pufferbetrieb für Bleiakumulatoren. Würzburg, Elektrotechnik/Elektromarkt 37 (1955) Nr. 11, S. 85...87.
- [3] *Zeh W.* Das Laden von Akkulatoren-Batterien mit konstanter Spannung. Berlin, Elektrotechn. Zeitschrift 18 (1966) H. 20, S. 771...773.
- [4] *Gerber Th.* Ermittlung der optimalen Ladungserhaltespannung von Röhrenbatterien. Bern, Techn. Mitt. PTT 45 (1967) Nr. 5, S. 276...280 — Détermination de la tension optimale de maintien de la charge de batteries à électrodes tubulaires. Berne, Bull. techn. PTT 46 (1968) N° 3, p. 128...134.
- [5] *Gerber Th.* Lebensdaueruntersuchungen an Röhrenplatten-Akkumulatoren für stationären Betrieb — Essais de durée de vie concernant des accumulateurs stationnaires à électrodes tubulaires. Bern, Techn. Mitt. PTT 54 (1976) Nr. 6, S. 190...205, und Nr. 7, S. 275...283.
- [6] *Sada S. and Haraguchi S.* Investigation on Floating Voltage of Lead-Acid Storage Batteries. Tokyo, Review of the Electrical Communication Laboratory 19 (1971) Nos 1+2, pp. 99...107.
- [7] *Kawamoto H. and Shimodaira A.* Improvement of Lead-Acid Battery Maintenance. Tokyo, Japan Telecommunication Review 17 (1975) No 2, pp. 140...146.