

C.S.F.C.E.

MANUALE
DELLA CORROSIONE

PÀTRON



RIFERIMENTO	ERRATA	CORRIGE
Pag. VI - ultimo cpv. - I riga	Naturalmente, la trattazione di una materia, che presenta...	Naturalmente, la trattazione di una materia che presenta...
Pag. XII - 2° cpv. - III riga	Engineer	Engineers
Pag. XIII - ultimo cpv. - I riga	I Gruppi di lavoro della C.S.F.C.E. di Bologna, sono ...	I Gruppi di lavoro della C.S.F.C.E. di Bologna sono...
Pag. 14 - penultima riga	Trabanelli e collaboratori [14]	Trabanelli e collaboratori [16]
Pag. 80 - alinea 4.1.06.	Classe dei materiali ...	Classi dei materiali ...
Pag. 82 - riga 10	... protettivo, armatura o finitura protettivo, armatura e finitura ...
Pag. 92 - alinea 4.2.04.2 riga 23 riga 24 riga 30	— scorrimento . . 15 mm — impronta . . . 17 mm — scorrimento . . 20 mm	— scorrimento . . ≤ 15 mm — impronta . . . ≤ 17 mm — scorrimento . . ≤ 20 mm
Pag. 101 - penultima riga e in calce inserire la nota	25 Kg/5cm;	25 Kg/5 cm; * * Si fa presente che recentemente le DIN hanno prescritto un limite inferiore pari a 17,5 Kg/5 cm.
Pag. 117 - riga 4	... rivestimento in fabbrica rivestimento applicato in fabbrica ...
Pag. 138 - riga 3	Tali norme sono qui di seguito riassunte:	Tali norme sono qui di seguito riassunte e integrate da opportuni suggerimenti.
Pag. 139 - riga 8	di 1 m ...	non inferiore a 1 m ...
Pag. 150 - riga 4	Appendice F.1.01.	Appendice F.1.
Pag. 156 - riga 6	Appendice F.2.03.	Appendice F.2.3.
Pag. 156 - ultima riga	Appendice F.2.01.	Appendice F.2.1.
Pag. 158 - riga 7	Appendice F.2.02.	Appendice F.2.2.
Pag. 163 - figura V-10	verso di i_2	invertire il verso di i_2
Pag. 165 - punto b) - riga 11	... in Appendice I;	... in Appendice I.
Pag. 170 - formula (4) - II membro	$\frac{\Delta V_H \cdot MH + \Delta V_H \cdot MK}{HK} \quad (4)$	$\frac{\Delta V_H \cdot MH + \Delta V_K \cdot MK}{HK} \quad (4)$
Pag. 233 - didascalia delle figure	— diagramma del rilievo sulla verticale ---- diagramma del rilievo sull'allineamento parallelo	— diagramma del potenziale sulla verticale ---- diagramma del potenziale sull'allineamento parallelo. diagramma della resistenza.
Pag. 255 - prima formula - I membro	$\frac{\delta V_H}{r_0 \delta I_M}$	$\frac{\delta V_H}{r_0 \delta I_H}$
Pag. 260 - dopo il numero di riferimento [26]	manca il riferimento [27]	[27] - H. M. FLAGLER e J. B. WEBB «Materials Protection», 6, 7, 33, 1967.

C.S.F.C.E.

COMMISSIONE DI STUDIO DEI FENOMENI DI CORROSIONE ELETTROLITICA

MANUALE DELLA CORROSIONE

RACCOMANDAZIONI TECNICHE
PER LA DIFESA DAI PERICOLI DI CORROSIONE
DELLE STRUTTURE METALLICHE INTERRATE



CASA EDITRICE PROF. RICCARDO PATRON
BOLOGNA

in tempi più recenti, sono state istituite Commissioni analoghe a Torino, a Genova, a Mestre. Di queste Commissioni fanno parte essenzialmente i rappresentanti di Enti che possiedono strutture nel sottosuolo e di industrie interessate ai problemi della corrosione.

Compito principale delle Commissioni è il coordinamento delle protezioni dei vari impianti interrati, mediante rilievi eseguiti da personale tecnico che presta la propria opera presso le Commissioni stesse.

Già da oltre sei anni è allo studio la costituzione di una Commissione Centrale, di cui fanno parte Enti a carattere nazionale, per il coordinamento delle attività delle varie Commissioni Territoriali. È probabile che tale Commissione inizi il proprio lavoro a breve scadenza.

La Commissione di Bologna non ha avuto problemi tali da richiedere un impegno totale da parte degli Enti associati, come è avvenuto per altre Commissioni. E poiché, oltre al coordinamento, la Commissione di Bologna ha per statuto lo studio dei fenomeni di corrosione, fin dal suo sorgere essa ha iniziato la preparazione di una serie di Raccomandazioni.

Una prima edizione fu pubblicata nel 1962, a cura dell'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni. Subito dopo, la Commissione ha iniziato la preparazione di una seconda edizione, di ampiezza assai maggiore della precedente. La presente opera raccoglie il lavoro di revisione e di ampliamento che è stato effettuato da tre Gruppi di lavoro, rispettivamente per lo studio dell'aggressività del terreno, della protezione passiva, della protezione attiva, e vuole essere un primo tentativo di normalizzazione della nomenclatura e dei metodi nel campo della corrosione.

Naturalmente, la trattazione di una materia, che presenta aspetti molto complessi e non tutti di facile valutazione, non può non presentare lacune e punti criticabili.

Ritengo doveroso ringraziare tutti i Colleghi che hanno

collaborato alla preparazione del Manuale e mi auguro che il lavoro sia di qualche utilità ai Tecnici che si interessano dei problemi della corrosione.

Un particolare ringraziamento va all'Ing. Giovanni Santi, Direttore di Divisione dell'Azienda di Stato per i Servizi Telefonici, il quale, oltre a partecipare ai lavori dei tre Gruppi, si è assunto l'onere, in verità tutt'altro che lieve, del coordinamento e della revisione; all'Ing. Carlo Spadoni, dell'Ufficio Tecnico della Commissione, che ha attivamente collaborato con i Gruppi di Lavoro e con l'Ing. Santi ed ha preparato un'ampia introduzione al volume; al Geom. Vincenzo Zampighi, anch'egli dell'Ufficio Tecnico della Commissione, il quale si è assunto l'onere della preparazione delle figure, ha assistito l'Ing. Santi e l'Ing. Spadoni ed ha svolto una preziosa opera nella correzione delle bozze. Un ringraziamento, infine, al signor Giovanni Banchi per la efficace collaborazione tecnica che ha prestato.

Ringrazio la casa Editrice Prof. R. Pàtron, per la veste tipografica molto decorosa che, secondo le sue tradizioni, ha voluto dare al Manuale.

Bologna, 24 maggio 1972

Il Presidente della C.S.F.C.E.
STEFANO BASILE

CENNI SULLA SITUAZIONE ATTUALE
DELLA DIFESA DALLA CORROSIONE
E INTRODUZIONE AL PRESENTE VOLUME

Il rapido e continuo estendersi delle reti di condotte interrate e sommerse (metanodotti, oleodotti, acquedotti, impianti di irrigazione, ecc.), delle reti di cavi di energia, di telecomunicazioni e di segnalazione, la crescente esigenza di posare nel sottosuolo le strutture metalliche di vario genere (serbatoi, cisterne, contenitori, ecc.) per ragioni di sicurezza ed ecologiche, il moltiplicarsi delle interferenze con gli impianti elettrici disperdenti corrente nel suolo, sono fatti della vita d'oggi giorno che certamente più di tanti altri hanno reso ormai di viva attualità il problema della corrosione, nei suoi molteplici aspetti economici e tecnici.

È noto infatti che gli impianti (interrati e sommersi), a cui sopra si è accennato, comportano per le varie Aziende installatrici o di esercizio un ingentissimo impiego di capitali, sia per il costo degli impianti stessi, sia per la loro messa in opera, sia infine per la loro manutenzione. È quindi logico che tali Aziende ricerchino le condizioni per le quali i loro impianti possono avere un lungo periodo di regolare esercizio, nel quale l'efficienza di funzionamento possa essere garantita e i rischi di danneggiamento ridotti al minimo. Orbene uno dei principali provvedimenti volti a raggiungere queste condizioni consiste senz'altro nella realizzazione di un programma di difesa contro i pericoli della corrosione, pericoli che, si badi bene, per il solo fatto dell'inevitabile interazione struttura-ambiente, sono in ogni caso potenzialmente presenti.

È opportuno sottolineare che i danni economici conseguenti ai fenomeni corrosivi non sono solo quelli provocati «direttamente» da essi, come la riparazione dei guasti, il ri-

pristino e la sostituzione delle parti corrose, ma soprattutto quelli provocati «indirettamente», come le interruzioni del servizio o del lavoro, la perdita di produzione (ad es. fughe di fluidi pregiati), la diminuzione di efficienza degli impianti, le perdite dovute alla contaminazione della produzione, ecc. Stime recenti fatte negli Stati Uniti, riferentisi alle sole reti di condutture interrato o sommerse, valutavano questi ultimi danni «indiretti» a miliardi di dollari l'anno. Ma non v'è solo il lato economico della questione: scoppi, incendi, crolli, corto-circuiti provocati (direttamente o indirettamente) da attacchi corrosivi sulle strutture di un impianto non costituiscono certo un evento eccezionale o raro; da qui si comprende che i problemi posti dalla corrosione, coinvolgendo responsabilità civili o penali di chi installa o ha in esercizio un determinato impianto, debbono essere visti anche sotto l'aspetto legale e della sicurezza sociale.

Il campo di studio dei fenomeni della corrosione è vastissimo e investe numerosissime branche dell'ingegneria e della tecnica; la corrosione delle strutture metalliche interrato o sommerse occupa, nel quadro generale, un ristretto settore di applicazione, anche se di straordinaria importanza pratica. Data poi l'eccezionale molteplicità e multiformità dei casi che si possono incontrare nella realtà quotidiana, è ben difficile possano formarsi dei tecnici che siano esperti in qualunque problema di corrosione. Ne segue che l'incontro di esperti nello studio dei problemi particolari e lo scambio delle loro esperienze, in seno ad Associazioni o Comitati di studio e di ricerca, permette l'allargamento delle conoscenze di ognuno ed un più rapido progredire degli studi.

Ma c'è un'altra ragione fondamentale che giustifica la formazione e lo sviluppo di queste Associazioni. Molto spesso ogni singolo Ente non può risolvere in modo soddisfacente i problemi di protezione dei propri impianti senza ricorrere alla collaborazione degli altri Enti, specialmente quelli i cui impianti si trovano nella stessa zona o in qualche modo interferiscono con i propri. Si pensi, per fare un esempio, al delicatissimo problema delle interferenze elettriche (nel suolo e nelle acque dei mari o dei laghi) che ciascun impianto di protezione catodica di un determinato Ente provoca sulle strutture di altri Enti posate non lontano da detto impianto; si pensi alle interferenze elettriche provocate dagli impianti disperdenti corrente continua nel suolo, come ferrovie, tran-

vie, funivie, ecc. e, in qualche caso, dagli impianti disperdenti corrente alternata. Oggi poi si sta affermando la tecnica del trasporto dell'energia elettrica, su linee o cavi ad alta tensione, mediante corrente continua: tali impianti di trasmissione sono previsti sia nel tipo unipolare, con ritorno permanente via terra della corrente di esercizio, sia nel tipo bipolare, con ritorno via terra della corrente in regime di funzionamento squilibrato o in caso di guasto; in entrambi i casi sono in gioco correnti vaganti intensissime (dell'ordine di centinaia di ampère) tali da provocare gravi problemi di interferenza in zone vastissime di terreno o di mare e quindi tali da interessare un numero molto grande di Enti. La tecnica della trasmissione e trasporto dell'energia in corrente continua è già molto diffusa in America (Sistema EHVDC e HVDC) ed è prevedibile lo sarà in un futuro non molto lontano anche in Italia, affiancandosi alla classica trasmissione in corrente alternata. Un primo notevole esempio di applicazione è dato, nel nostro Paese, dalla linea di interconnessione a 200 kV fra le reti elettriche della Sardegna e del continente.

Tutto questo porta evidentemente alla necessità di una stretta collaborazione tra le diverse Società ed Enti, sia quelli che sono proprietari o esercitano le reti di condutture o altre strutture metalliche interrate o sommerse, sia quelli che esercitano impianti funzionanti in corrente continua, in primo luogo le Società proprietarie di ferrovie, tramvie e filovie, ecc. e le Società produttrici e distributrici di energia elettrica. Soltanto in un regime di reciproca collaborazione si possono adottare tutti quei provvedimenti e quelle soluzioni in grado di risolvere i gravi problemi di corrosione (nei loro aspetti tecnici, economici, giuridici) che sorgono per il solo fatto che diversi sistemi debbono convivere, a volte a gomito a gomito (si pensi alle zone urbane o suburbane) in un unico circoscritto ambiente, indipendentemente dall'aggressività propria dello stesso ambiente; e una simile cooperazione non può avvenire che nell'ambito di Associazioni o Commissioni di Coordinamento le quali però, oltre che dedicarsi alla difesa coordinata delle strutture degli Enti aderenti, siano anche in grado di promuovere attività di studio e di ricerca.

Riteniamo opportuno fare una rapida e sommaria rassegna delle più importanti Associazioni, Organizzazioni e Commissioni sorte in Italia e all'Estero, tra quelle oggi a nostra conoscenza.

In campo internazionale opera la F.E.C., Federazione Europea della Corrosione, con sedi a Francoforte sul Meno, Londra e Parigi, la quale riunisce e coordina le attività di oltre settanta Centri di studio sulla corrosione sparsi in tutta Europa, e, per quanto riguarda i problemi particolari di corrosione delle reti telefoniche, il C.C.I.T.T., Comitato Consultivo Internazionale di Telegrafia e Telefonia, con sede a Ginevra, del quale fanno parte le Amministrazioni di Telecomunicazioni, pubbliche e private, di tutti i paesi del mondo. Del campo specifico della corrosione delle condotte si occupa attualmente il C.E.O.C.O.R., Comité Regional (Europe Occidentale) de la Corrosion et de la Protection des Conduites, con sede a Liegi, cui aderiscono, in Europa, studiosi e ricercatori di chiara fama, i quali hanno costituito Commissioni e Gruppi di Lavoro che trattano problemi molto importanti anche dal punto di vista pratico.

Negli Stati Uniti esiste una vasta organizzazione nazionale, denominata N.A.C.E. (National Association of Corrosion Engineers, con sede a Houston nel Texas) la quale riunisce tutte le maggiori industrie americane interessate: essa ha istituito oltre 200 Comitati di studio e ricerca nei diversissimi settori specifici della Corrosione dei materiali e della loro protezione, a loro volta suddivisi in innumerevoli Gruppi di lavoro. Dato l'avanzato livello raggiunto dagli studi in questo paese, la vastità delle ricerche e i possenti mezzi a disposizione dell'Organizzazione, le pubblicazioni della NACE (libri, periodici, memorie, resoconti, ecc.), assumono grande interesse sia dal punto di vista teorico che da quello pratico e applicativo.

Associazioni simili, seppure di proporzioni molto più ridotte, sono sorte in molti altri Stati. Ricordiamo in Gran Bretagna il B.J.C.G. (British Joint Corrosion Group, con sede a Londra) e la C.A.P.A. (Corrosion and Protection Association), in Francia il CEFRACOR (Centre Français de la Corrosion, con sede a Parigi) e l'A.I.A.C. (Association des Ingénieurs en Anticorrosion, con sede pure a Parigi); in Belgio il CEBELCOR (Centre Belge d'Études de la Corrosion, con sede a Bruxelles), e molti altri ancora.

In Italia segnaliamo l'A.I.M. (Associazione Italiana di Metallurgia, con sede a Milano) che ha istituito un proprio Centro di Studio sulla Corrosione; il Centro di Studio sulla Corrosione «A. Daccò» dell'Università di Ferrara che è sede

pure della Delegazione Italiana al C.E.O.C.O.R.; l'U.N.I. (Ente Nazionale di Unificazione) la cui Commissione Centrale Tecnica ha recentemente costituito un Comitato di Coordinamento per le prove di corrosione; il Centro Controllo Corrosione ed Apparatrici Elettrici della Cassa del Mezzogiorno (Napoli); il Laboratorio per la Corrosione Marina dei Metalli del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Genova); i Laboratori di Ricerca delle maggiori industrie metallurgiche, chimiche o petrolchimiche, come «Breda», «Dalmine», «E.N.I.», «Falck», «Montedison», ecc.

Citiamo infine le diverse Commissioni Italiane di Coordinamento, ciascuna operante in una propria e ben delimitata zona di competenza, alle quali aderiscono gli Enti (Società private, Comuni, Aziende Statali o Municipalizzate, Associazioni di Categoria) interessati direttamente o indirettamente ai problemi della corrosione sotterranea: a Milano risiede la Commissione Consultiva Correnti Vaganti del Comune di Milano, che fu la prima ad essere costituita in Italia, a Milano e a Torino la Commissione Correnti Vaganti Lombardia e Piemonte, a Torino la Commissione Correnti Vaganti del Comune di Torino, a Genova la Commissione Regionale Correnti Vaganti della Liguria, a Mestre la Commissione Correnti Vaganti delle Tre Venezie, a Bologna la Commissione di Studio dei Fenomeni di Corrosione Elettrolitica.

La Commissione di Studio dei Fenomeni di Corrosione Elettrolitica (C.S.F.C.E.) si costituì a Bologna nel 1956 per iniziativa del Comitato Consultivo Compartmentale delle Telecomunicazioni di Bologna (C.C.C.T.), sotto la presidenza del Prof. Ing. Stefano Basile, Direttore dell'Istituto di Elettrotecnica della Università di Bologna. La Commissione fu istituita allo scopo di promuovere e sviluppare iniziative di carattere scientifico e tecnico, nel campo generale dei fenomeni di corrosione elettrolitica, ai fini della protezione delle strutture metalliche interrate e di coordinare l'attività dei suoi Membri in questo settore particolare. Per il raggiungimento dei suoi scopi sociali la Commissione si avvale dell'attività di Gruppi di lavoro, di una Segreteria e di un Ufficio Tecnico che fornisce anche, nei limiti dello statuto, attività di assistenza tecnica agli Enti associati.

I Gruppi di lavoro della C.S.F.C.E. di Bologna sono attualmente tre e ciascuno opera in un ben distinto campo di specializzazione ai fini della protezione delle strutture metal-

liche, secondo il programma di massima approvato dalla Commissione; la denominazione dei tre Gruppi e la loro composizione sono riportate in calce alla presente Introduzione.

Nella compilazione delle «Raccomandazioni» i Gruppi di lavoro, composti da studiosi e da esperti rappresentanti di grandi Società direttamente o indirettamente interessate ai problemi della corrosione, si sono valse, pur consultando la vasta letteratura esistente a livello internazionale, della loro lunga e quotidiana esperienza nella tecnica anticorrosionistica, per cui gran parte dei concetti e dei suggerimenti inseriti nel presente lavoro sono originali o comunque sono il risultato di esperienze e studi personali.

L'opera si articola in sei capitoli ai quali sono allegate nove appendici.

Il primo Capitolo ha lo scopo di unificare e chiarire la terminologia relativa ai fenomeni chimici ed elettrochimici presenti nel meccanismo della corrosione e alle tecniche usate nella protezione; nello stesso tempo, attraverso le definizioni, esso pone le basi per una migliore comprensione della materia.

Il secondo Capitolo tratta ampiamente dei diversi metodi di campagna e di laboratorio per la determinazione di tutte le grandezze fisiche, chimiche ed elettrochimiche che caratterizzano i terreni ai fini di una valutazione della loro aggressività; espone poi i criteri di valutazione fissandone i limiti e il carattere di convenzionalità.

Il terzo Capitolo espone, nel modo più generale, i provvedimenti possibili (applicabili alle strutture da proteggere e a quelle che danno origine a correnti disperse) atti a ridurre od eliminare i fenomeni corrosivi delle strutture metalliche interrate, soffermandosi in particolar modo sulla protezione catodica e sui criteri seguiti per realizzarla nei diversi casi.

Il quarto Capitolo tratta la protezione passiva delle condutture interrate (tubazioni e cavi). Esso descrive in modo organico ed esauriente i materiali che costituiscono oggi giorno i rivestimenti protettivi delle condutture metalliche, le prestazioni dei diversi tipi di rivestimento, le specifiche a cui debbono soddisfare in relazione al tipo di struttura e di ambiente, le prove e i controlli; vengono anche esposte diverse prescrizioni per la corretta posa in opera di tubazioni e cavi nelle diverse condizioni ambientali e di esercizio, per l'installazione di organi speciali e per tutto ciò che può essere in

relazione con il criterio della protezione passiva delle condutture interrato. Allegata a questo Capitolo è l'Appendice B che riporta i metodi e le procedure da seguire per la valutazione delle più importanti caratteristiche dei materiali bituminosi: esse sono state stralciate e tradotte, per gentile concessione, da una Comunicazione del II Comitato Olandese della Corrosione, il quale, unico in Europa, ha affrontato e risolto, con rigore scientifico e criteri generali, questi problemi.

Il Capitolo V e le Appendici ad esso allegate trattano a fondo delle misure da eseguire per verificare lo stato elettrico delle condutture metalliche sotto il profilo della corrosione e degli strumenti adatti per tali misure. Vengono in particolare illustrate le tecniche di esecuzione delle misure e gli accorgimenti più opportuni per limitare i relativi errori. Nell'ultima sezione del Capitolo, dopo aver ampiamente illustrato, anche sotto l'aspetto matematico, un metodo per la misura della resistenza di isolamento delle condutture in esercizio, vengono esposti i procedimenti per la localizzazione di falle e di contatti e per il controllo dei giunti isolanti.

Nel VI Capitolo viene affrontato il problema dell'interferenza elettrica fra impianti più o meno adiacenti. Vi sono anzitutto esposte quelle prescrizioni, suggerite dall'esperienza, che si ritiene necessario seguire per ottenere un adeguato rilevamento e un sicuro controllo delle interferenze. Nella stesura di questo Capitolo, gli Autori, al fine di rendere possibile la coesistenza nella stessa zona di numerosi impianti senza che le reciproche perturbazioni aggravino o moltiplichino i pericoli di corrosione, e di fornire validi riferimenti per la soluzione di eventuali controversie, si sono soprattutto preoccupati di stabilire dei limiti ammissibili della interferenza che ciascuna struttura può ricevere dalle altre e di suggerire i provvedimenti più idonei per contenere tale interferenza nei suddetti limiti. A questo riguardo riteniamo opportuno segnalare che il problema della valutazione dei limiti ammissibili dell'interferenza sulle strutture senza protezione attiva o solo parzialmente protette, mediante un criterio di facile applicazione, ma nello stesso tempo rigorosamente giustificato in sede teorica, ha presentato gravissime difficoltà ed è stato per lungo tempo oggetto di vive discussioni e di particolari ricerche da parte dei componenti il III Gruppo di lavoro. Sono state invero formulate diverse proposte e presentate anche alcune soluzioni, ma alla fine gli Autori, rico-

noscendo la necessità di ulteriori sperimentazioni in grado di confermare o meno i risultati trovati e di più ampie indagini, hanno preferito limitarsi per ora ad un semplice criterio empirico, rinviando la soluzione più esauriente del problema ad una delle successive edizioni del «Manuale».

Certamente gli Autori sono ben lungi dal pensare di avere esaurito il loro compito; la sperimentazione pratica delle «Raccomandazioni» contenute nel presente «Manuale» da parte di un numero sempre più grande di tecnici, le critiche ed i suggerimenti di tutti coloro che ritengono necessaria una normativa nel campo dei problemi di corrosione, saranno indispensabili al perfezionamento di questa pubblicazione. Data poi la particolare natura della materia affrontata, la quale è necessariamente ancora in fase di sperimentazione e i cui studi sono tuttora in via di sviluppo, gli Autori sono ben consci della necessità di ulteriori edizioni del «Manuale», nelle quali il campo dei problemi di corrosione potrà essere ampliato ed approfondito, passando ad esempio a trattare, accanto alle strutture metalliche interrate, anche quelle sommerse (condutture, pontili, attracchi, scafi, ecc.), ed affrontando problemi di corrosione in condizioni ed ambienti speciali, come ad esempio la corrosione *all'interno* di contenitori e tubi convoglianti fluidi in svariate condizioni di temperatura e pressione (impianti di riscaldamento e raffreddamento, impianti industriali in genere), la corrosione nel cemento armato, la corrosione delle strutture metalliche sotto sforzo, ecc.

Se questo lavoro, per quanto imperfetto ed incompleto, contribuirà a diffondere l'interesse per gli studi sulla corrosione e a rendere consapevoli tutti coloro, Enti e persone, che sono interessati, dell'importanza dei molteplici problemi posti dai fenomeni corrosivi delle strutture metalliche e quindi della necessità di ricercare ed attuare tutti i criteri e i mezzi più idonei di prevenzione e difesa, in altre parole se contribuirà a diffondere anche nel nostro Paese una vera coscienza anti-corrosionistica, potrà ritenersi certamente raggiunto l'obiettivo principale che gli Autori si erano prefissi.

GRUPPI DI LAVORO DELLA C.S.F.C.E.

I GRUPPO DI LAVORO «AGGRESSIVITA DELL'AMBIENTE»

Presidente:

PROF. GIORDANO TRABANELLI - Centro Studi Corrosione «A. Daccò» - Istituto Chimico dell'Università di Ferrara.

Vicepresidente:

DR. ADRIANO LOSAPPIO - A.S.S.T. - Ispettorato III Zona - Bologna

Membri:

DR. ING. MARIO ARPAIA - Cassa per il Mezzogiorno - Ufficio Controllo Corrosione - Napoli

DR. ING. NERI EBERLE - Società Dalmine S.p.A. - Dalmine (Bergamo)

DR. REMO SANDRINELLI - Società Dalmine S.p.A. - Dalmine (Bergamo)

DR. ING. GIOVANNI SANTI - A.S.S.T. - Ispettorato III Zona - Bologna

II GRUPPO DI LAVORO «PROTEZIONE PASSIVA»

Presidente:

DR. ING. NERI EBERLE - Società Dalmine S.p.A. - Dalmine (Bergamo)

Vicepresidente:

DR. REMO SANDRINELLI - Società Dalmine S.p.A. - Dalmine (Bergamo)

Membri:

DR. ING. ANTONIO DELLE FEMINE - Cassa per il Mezzogiorno Ufficio Controllo Corrosione - Napoli

DR. ING. PIERO RONZANI - S.I.R.T.I. - Milano

DR. ING. FRANCESCO SANTAGATA - SNAM S.p.A. - S. Donato Milanese (Milano)

DR. ING. GIOVANNI SANTI - A.S.S.T. - Ispettorato III Zona - Bologna

DR. ING. CARLO TAMBURELLI - Società FALCK - Sesto San Giovanni (Milano)

PER. IND. ERMANNO GARAGNANI - S.I.P. - III Zona - Bologna

III GRUPPO DI LAVORO «PROTEZIONE ATTIVA»

Presidente:

DR. ING. MARIO ARPAIA - Cassa per il Mezzogiorno
Ufficio Controllo Corrosione - Napoli

Vicepresidente:

DR. ING. ANTONIO DELLE FEMINE - Cassa per il Mezzogiorno
Ufficio Controllo Corrosione - Napoli

Membri:

PROF. ING. STEFANO BASILE - Istituto di Elettrotecnica
dell'Università di Bologna
DR. ING. NERI EBERLE - Società Dalmine S.p.A. -
Dalmine (Bergamo)
DR. ING. PIERO RONZANI - S.I.R.T.I. - Milano
DR. ING. FRANCESCO SANTAGATA - SNAM - S. Donato Milane-
se (Milano)
DR. ING. GIOVANNI SANTI - A.S.S.T. - Ispettorato III
Zona - Bologna
DR. ING. CARLO TAMBURELLI - Società FALCK - Sesto
San Giovanni (Milano)
DR. ING. ALESSANDRO URBINATI - ENEL - Roma

Coordinatore dei Gruppi di lavoro:

DOTT. ING. GIOVANNI SANTI

COMITATO DI REDAZIONE

Direzione:

DOTT. ING. GIOVANNI SANTI DOTT. ING. CARLO SPADONI

Collaboratori:

GIOVANNI BANCHI PER. IND. ERMANNO GARAGNANI
GEOM. VINCENZO ZAMPIGHI

ENTI RAPPRESENTATI NELLA C.S.F.C.E.

Associazione Italiana di Metallurgia - Milano
Azienda Municipalizzata Servizi - Ancona
Azienda Municipalizzata Gas - Bari
Azienda Municipalizzata Gas-Acqua - Bologna
Azienda Municipalizzata Gas-Acqua - Cesena
Azienda Municipalizzata Gas - Ferrara
Azienda Municipalizzata Acqua-Gas-Elettricità - Imola
Azienda Municipalizzata Gas - Pesaro
Azienda Municipalizzata Gas - Reggio Emilia
Azienda di Stato per i Servizi Telefonici - Roma
Azienda Trasporti Municipali - Bologna
Centro Controllo Corrosione - Cassa per il Mezzogiorno - Napoli
Centro Studi sulla Corrosione «A. Daccò» - Ferrara
Comune di Bologna
ENEL - Compartimento di Firenze
ENEL - Compartimento di Milano
ENEL - Compartimento di Roma
ENEL - Compartimento di Venezia
Ferrovie dello Stato - Divisione Impianti Elettrici - Bologna
Industriale Camuzzi - Milano
Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni - Roma
SIP - III Zona - Bologna
Società Dalmine - Bergamo
Società FALCK - Milano
Società S.I.R.T.I. - Milano
Società SNAM - Milano

SIGNIFICATO DELLE SIGLE USATE NEL TESTO

- A.P.I. : American Petroleum Institute (Istituto Americano del Petrolio)
- A.S.A. : American Standards Association (Associazione Americana per l'Unificazione)
- A.S.T.M. : American Society for Testing Materials (Società Americana per le prove sui metalli)
- C.C.I.T.T. : Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique (Comitato Consultivo Internazionale Telegrafico e Telefonico)
- C.E.I. : Comitato Elettrotecnico Italiano
- D.I.N. : Deutsche Industrie Normen (Norme dell'Industria Tedesca)
- I.E.C. : International Electrotechnical Commission (Commissione Elettrotecnica Internazionale)
- I.P. : Institute of Petroleum (Istituto del Petrolio)
- I.S.O. : International Organization for Standardization (Organizzazione Internazionale per l'Unificazione)
- K.V.B.B. : Keuringsvoorschriften voor Bitumineuze Bouwstoffen (Specifiche per le prove su materiali bituminosi da costruzione)
- N.A.C.E. : National Association of Corrosion Engineers (Associazione Nazionale degli Ingegneri Corrosionisti)
- N.E.N. : Nederland Normblad (Norme Olandesi)
- N.O.M. : Norme Olii Minerali
- T.N.O. : Technische Nederlandsche Organisatie (Organizzazione Olandese della Tecnica)
- U.N.I. : Unificazione Nazionale Italiana

CAPITOLO I

GENERALITA'

SEZIONE I - SCOPO DELLE RACCOMANDAZIONI

Le presenti «Raccomandazioni» hanno lo scopo di suggerire i metodi di indagine relativi ai problemi di corrosione delle strutture metalliche in un ambiente a comportamento elettrolitico ed i provvedimenti atti a contrastare la corrosione. Esse vogliono altresì rappresentare un tentativo di normalizzazione in tale campo, anche per quanto riguarda la terminologia.

In queste «Raccomandazioni», a meno che non sia precisato diversamente, saranno presi in considerazione solo i fenomeni originati da correnti elettriche continue o da componenti continue delle correnti elettriche comunque variabili.

SEZIONE II - DEFINIZIONI

Alimentatore catodico - Dispositivo che fornisce energia elettrica a corrente continua mediante il quale si realizza la protezione catodica.

Ambiente - Mezzo a comportamento elettrolitico, costituito da soluzioni acquose, nel quale è immersa una struttura metallica¹.

Anaerobico (ambiente) - Esente da aria o da ossigeno non combinato.

Anione - Ione dotato di carica negativa.

Anodo - Elettrodo di una pila galvanica, o di una cella elettrolitica, dal quale la corrente elettrica (convenzionale) passa all'ambiente. Su tale elettrodo avvengono i processi di ossidazione.

Anodo galvanico (o reattivo) - Elettrodo impiegato per la protezione catodica, costituito da una opportuna lega metallica che, nell'ambiente in esame, risulta elettronegativa rispetto al materiale metallico della struttura da proteggere (vedasi «Serie galvanica»).

Catione - Ione dotato di carica positiva.

Catodo - Elettrodo di una pila galvanica, o di una cella elettrolitica, il quale riceve corrente elettrica (convenzionale) dall'ambiente. Su tale elettrodo avvengono i processi di riduzione.

Corrente di protezione - Corrente erogata da un dispositivo di protezione catodica (alimentatore catodico, anodo galvanico, drenaggio) per proteggere catodicamente la superficie di una struttura.

Corrente dispersa - Corrente esterna immessa nell'ambiente da impianti elettrici aventi un difetto di isolamento o collegati a terra per esigenze funzionali.

¹ In pratica, la definizione si riferisce a soluzioni acquose, terreno, muratura, ecc. Nel seguito si userà genericamente questo termine per indicare il mezzo elettrolita in cui la struttura metallica è immersa. Quando si tratti di un ambiente specifico se ne indicherà esplicitamente la natura.

Corrente esterna - Corrente che circola nell'ambiente per effetto di una f.e.m. esterna al sistema interessato alla corrosione.

Corrente longitudinale - Corrente che fluisce nella direzione dell'asse longitudinale di una struttura avente una dimensione prevalente sulle altre due.

Corrente trasversale - Corrente che attraversa la superficie di separazione tra una struttura e l'ambiente.

Corrente vagante - Denominazione particolare data alla corrente dispersa quando proviene da impianti di trazione elettrica a corrente continua.

Corrosione - Fenomeno che provoca il graduale decadimento delle caratteristiche di un materiale metallico a causa di reazioni chimiche od elettrochimiche con l'ambiente.

Corrosione catodica - Corrosione nelle zone catodiche di un metallo anfotero. Generalmente essa è provocata dalla reazione dei prodotti alcalini.

Corrosione chimica - Interazione chimica diretta fra metallo ed ambiente in assenza di elettrolita. Ad esempio reazione del ferro con l'ossigeno a temperatura elevata («Corrosione secca»).

Corrosione elettrochimica - Corrosione dovuta alla disponibilità di una f.e.m. nel sistema interessato al processo corrosivo.

In relazione all'origine di detta f.e.m., si distinguono due casi di corrosione elettrochimica²:

² Si ritiene opportuno osservare che il Comitato Consultivo Internazionale Telegrafico e Telefonico (C.C.I.T.T.), nelle sue «Raccomandazioni» [1], distingue le corrosioni elettrochimiche in elettrolitiche e non elettrolitiche in base al criterio pratico della possibilità o meno di misurare le correnti scambiate fra le zone anodiche e catodiche,

a) Corrosione galvanica (spontanea) dovuta a f.e.m. insite nel sistema interessato alla corrosione.

b) Corrosione elettrolitica dovuta all'azione di corrente esterna.

Corrosione elettrolitica - (vedasi «Corrosione elettrochimica»).

Corrosione galvanica - (vedasi «Corrosione elettrochimica»).

Corrosione intergranulare (o intercristallina) - Corrosione con demolizione selettiva dei bordi dei grani di un materiale metallico policristallino.

Corrosione interstiziale - Corrosione localizzata che si manifesta in un interstizio fra due superfici delle quali almeno una sia di materiale metallico.

Corrosione localizzata a cavità - (vedasi anche «Fattore di corrosione localizzata a cavità»).

Corrosione caratterizzata da cavità isolate, prodottesi sulla superficie del materiale metallico con distribuzione generalmente casuale.

Corrosione secca - (vedasi «Corrosione Chimica»).

Corrosione sotto tensione - Corrosione che si realizza tramite l'azione combinata di tensioni meccaniche sia esterne (applicate) che interne (residue) e di un mezzo corrosivo specifico.

Corrosione transgranulare (o transcristallina) - Corrosione caratterizzata da cricche che si propagano attraverso i grani cristallini seguendo una o più direzioni principali.

non alle cause che le originano.

Inoltre il C.C.I.T.T. indica quale mezzo di riconoscimento dei due tipi di corrosione le differenti caratteristiche presentate sia dalla composizione e dal carattere dei prodotti di corrosione, sia dall'aspetto dell'attacco, sia dalla stessa composizione del mezzo ambiente.

Corrosione umida - Corrosione di un materiale metallico in contatto con liquidi (esclusi i metalli ed i sali fusi) ed in presenza di ambienti suscettibili di condensazione sulla superficie del materiale metallico.

Dispersore - Elettrodo costituito da uno o più elementi (generalmente di leghe metalliche, di carbone, di grafite, ecc.) posto in buon contatto elettrico con l'ambiente al fine di immettervi corrente.

Drenaggio (Effetto di) - Conduzione di corrente elettrica da una struttura metallica da proteggere al sistema disperdente, ottenuta attraverso un opportuno dispositivo del quale è parte essenziale un conduttore metallico di collegamento fra la struttura e il sistema disperdente.

Elettrodo di riferimento - Semipila, il cui potenziale è riproducibile in analoghe condizioni di misura. Generalmente è costituita da un conduttore metallico e da un conduttore elettrolitico. Essa permette di misurare, in una determinata scala, il potenziale di una struttura rispetto all'ambiente.

Uno degli elettrodi di riferimento più diffusi per misure su strutture interrate è quello al Cu/CuSO_4 saturo, rappresentato schematicamente nella fig. I-1.

Elettrolisi - Produzione di modificazioni chimiche dovute al passaggio di una corrente elettrica.

Elettrolita - Mezzo, spesso una soluzione, nel quale la conduzione di corrente elettrica è dovuta alla migrazione degli ioni in esso presenti.

Equivalento elettrochimico - Peso in grammi di un elemento o di un gruppo atomico, che viene ossidato o ridotto ad uno degli elettrodi di una cella elettrolitica in seguito al passaggio della unità di carica elettrica (coulomb).

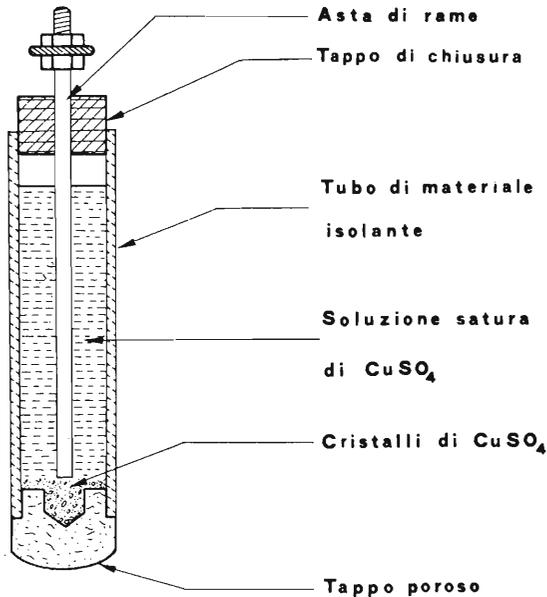


FIG. I-1 - Elettrodo di riferimento al Cu/CuSO₄.

Fattore di corrosione (localizzata a cavità) - Rapporto fra la profondità della cavità di corrosione più profonda e la diminuzione dello spessore. Tale diminuzione viene calcolata in base alla perdita di peso e si riferisce alla superficie attaccata dalla corrosione localizzata.

Fragilità da idrogeno - Decadimento delle proprietà meccaniche e chimiche dei materiali metallici causato dalla penetrazione in essi di idrogeno nascente.

Giunto isolante - Elemento inserito in punti opportuni della struttura per interromperne la continuità metallica senza alterarne la funzionalità meccanica.

Grafitizzazione - Corrosione della ghisa nel cui processo vengono attaccate la ferrite e la perlite lasciando intatta la grafite.

Inibitore - Sostanza che aggiunta all'ambiente in opportune concentrazioni, di solito piccole, diminuisce la velocità di corrosione.

Intensità di corrosione - Peso del metallo perduto per corrosione nella unità di tempo e per unità di superficie. In genere si esprime in $\text{mg}/\text{dm}^2 \cdot \text{giorno}$ (m.d.d.). Nel caso di corrosione localizzata a cavità è opportuno associare alla intensità di corrosione il fattore di corrosione localizzata (vedasi «Fattore di Corrosione localizzata a cavità»).

Interferenza (elettrica) - Scambio di corrente fra strutture attraverso l'ambiente in cui sono immerse.

Ione - Atomo, o gruppo atomico, dotato di carica elettrica.

Ossidazione - Perdita di elettroni da parte di una specie chimica in reazioni chimiche ed elettrochimiche.

Passivazione - Processo di instaurazione della passività.

Passività - Condizione nella quale la velocità di corrosione di un materiale metallico, in un determinato ambiente, si riduce a valori prossimi allo zero in seguito alla formazione di pellicole protettive costituite da composti del materiale metallico stesso.

Pila (elettrochimica) - Dispositivo nel quale l'energia liberata da una reazione chimica spontanea si trasforma direttamente in energia elettrica.

Pila ad aerazione differenziale o ad ossigeno - Pila di concentrazione (vedasi «Pila galvanica» di tipo *c*) la cui f.e.m. è dovuta alla diversa concentrazione di ossigeno sulla superficie di due elettrodi costituiti dallo stesso metallo.

Pila galvanica - Pila costituita dall'accoppiamento di due semipile (vedasi «Semipila») aventi diverso potenziale.

Le pile più frequenti nel campo della corrosione sono:

a) pila costituita da due semipile che si differenziano soltanto nel conduttore metallico;

b) pila costituita da due semipile che si differenziano soltanto nella natura del conduttore elettrolitico;

c) pila costituita da due semipile che si differenziano nella diversa concentrazione di soluto (pila di concentrazione).

Pila geologica - Pila galvanica di tipo *b*) e *c*) (vedasi «Pila galvanica») la cui f.e.m. è dovuta a diverse caratteristiche fisico-chimiche dei terreni a contatto con una struttura metallica.

Polarizzazione - Generazione di una forza controelettromotrice (f.c.e.m.) in una semipila per effetto del passaggio di corrente.

Potenziale della struttura (rispetto all'ambiente) - Differenza di potenziale (d.d.p.) fra la struttura ed un elettrodo di riferimento posto in contatto con l'ambiente in cui la struttura stessa è immersa (vedasi Cap. V - Sez. III).

Potenziale di sicurezza - Valore del potenziale comunemente ritenuto capace di assicurare, con un certo margine di sicurezza rispetto alla soglia di immunità, la protezione totale. Alcuni valori pratici di tale potenziale per metalli diversi sono indicati nel Cap. III (vedasi alinea 3.3.02.1.).

Potenziale normale di equilibrio di un metallo - Potenziale che assume un elettrodo del metallo rispetto ad una soluzione «standard» dei suoi ioni, caratterizzata cioè da attività unitaria degli ioni, ad una temperatura di 25 °C e alla pressione di una atmosfera.

Protezione anodica - Controllo o riduzione del fenomeno di corrosione su materiali passivabili ottenuto rendendo tali materiali anodici mediante l'applicazione di una corrente esterna, in modo da formare un film protettivo sulla super-

ficie metallica. Il materiale metallico deve assumere un valore di potenziale compreso nell'intervallo di passività.

Protezione catodica - Riduzione od annullamento del fenomeno di corrosione ottenuto rendendo il potenziale della struttura più negativo. La protezione è totale quando il potenziale di ogni punto della struttura è, in ogni istante, uguale od inferiore alla soglia di immunità (vedasi «Soglia di immunità»).

Rendimento di corrosione di un anodo - Rapporto fra il consumo effettivo di un anodo ed il consumo teorico calcolate in base alla quantità di elettricità erogata.

Resistenza longitudinale - Resistenza che un tronco di conduttura oppone al passaggio di una corrente longitudinale (vedasi «Corrente longitudinale»).

Resistenza trasversale - Resistenza che si oppone al passaggio di una corrente trasversale (vedasi «Corrente trasversale»). Spesso viene denominata anche «Resistenza di dispersione» (vedasi Cap. V - Sez. V).

Riduzione - Guadagno di elettroni da parte di una specie chimica in reazioni chimiche ed elettrochimiche.

Sempila - Sistema costituito da un conduttore metallico e da un conduttore elettrolitico separati da una superficie fisicamente definibile attraverso la quale possa avvenire uno scambio di corrente. La sempila assume un potenziale, misurabile rispetto ad un elettrodo di riferimento (vedasi definizione), che dipende dalla natura del conduttore metallico, dalla natura dell'elettrolita, dalla concentrazione del soluto e dalla temperatura.

Serie galvanica - Elenco in successione di alcuni materiali metallici (metalli e leghe) comunemente usati nel campo delle costruzioni, compilato in base al loro comportamento quando essi siano accoppiati, in un dato ambiente, in modo da for-

mare una pila galvanica di tipo *a*) (vedasi «Pila galvanica»).

La successione è tale che, considerati due qualsiasi materiali della serie, nella pila da loro formata quello che precede funziona da catodo e quello che segue da anodo. Quanto più i due materiali occupano nella successione posti distanti, tanto più elevata sarà la f.e.m. della pila.

Ciascuna serie galvanica è tipica di un determinato ambiente. A titolo di esempio si riporta di seguito una serie galvanica riferita a terreni neutri ed acque neutre³.

TABELLA 1

Serie galvanica pratica⁴
Potenziali generalmente osservati in terreni neutri ed acque neutre

METALLO	POTENZIALI IN VOLT RIFERITI ALL'ELETTRODO AL SOLFATO DI RAME SATURO
Magnesio commercialmente puro	— 1,75
Lega di magnesio (6% Al, 3% Zn, 0,15% Mn)	— 1,6
Zinco	— 1,1
Lega di alluminio (5% Zn)	— 1,05
Alluminio commercialmente puro	— 0,8
Acciaio dolce (lucido e pulito)	da — 0,5 a — 0,8
Acciaio dolce ossidato	da — 0,2 a — 0,5
Ghisa (non grafitizzata)	— 0,5
Piombo	— 0,5
Acciaio dolce annegato nel cemento	— 0,2
Rame, ottone, bronzo	— 0,2
Ghisa ad alto tenore di Silicio	— 0,2
Scaglia di laminazione su acciaio	— 0,2
Carbone, grafite, coke	+ 0,3

³ In elettrochimica si definisce una serie delle forze elettromotrici dei metalli, nella quale questi sono ordinati in funzione crescente del potenziale che ciascun metallo, immerso in una soluzione ad attività unitaria dei propri ioni, alla temperatura di 25 °C ed alla pressione di 1 atm., assume rispetto all'elettrodo ad idrogeno preso come riferimento. Tale serie si riferisce a soluzioni che generalmente non si verificano nella pratica corrosionistica.

⁴ Questa serie è riportata da A. W. Peabody, a pag. 5 del suo testo [2].

Soglia di immunità - Valore limite del potenziale della struttura al di sotto del quale⁵ cessa la corrosione.

Velocità di corrosione - Penetrazione del processo corrosivo nella massa metallica nell'unità di tempo. Generalmente si esprime in mm/anno.

⁵ Con la dizione «al di sotto» o «inferiore» alla soglia di immunità si intenderanno potenziali negativi con valori assoluti maggiori di tale soglia. Analogamente con la dizione «al di sopra» o «superiore» si intenderanno valori assoluti minori, ovvero valori positivi.

CAPITOLO II

AMBIENTE E SUA AGGRESSIVITA'

INTRODUZIONE

La valutazione dell'aggressività dei terreni è, allo stato attuale, oggetto di studi e di discussioni, a motivo di un certo numero di fattori che influenzano il comportamento dei terreni con i quali i metalli vengono a contatto.

Questi fattori non sono immutabili e, generalmente, non intervengono uno alla volta, ma interagiscono fra loro in maniera più o meno complessa. Di conseguenza non è facile stabilire metodi di valutazione della aggressività del terreno sufficientemente completi e sicuri. Il metodo più immediato consiste nell'interrare direttamente nel terreno campioni di diversi metalli: il loro comportamento viene esaminato periodicamente (generalmente ogni anno o ogni due anni) con i metodi classici.

Pur essendo diretto e sicuro, questo metodo comporta evidentemente esperienze a lungo termine e può essere utilizzato con successo negli studi sistematici dell'aggressività esercitata da terreni vari su metalli diversi: a questo fine il National Bureau of Standards [3] ha curato prove a lungo termine che, a partire dal 1922, sono continuate fino ad oggi. Sebbene l'interesse di queste prove sia innegabile, i numerosi risultati ottenuti non permettono di trarne conclusioni complete, lasciando ancora aperto il problema della determinazione della velocità di corrosione di un determinato metallo in un determinato terreno.

Sono stati fatti numerosi tentativi per risolvere questo problema, elaborando metodi sperimentali semplici, rapidi e di facile applicazione per valutare l'aggressività di un terreno.

A tal fine si è cercato, innanzitutto, di definire quali siano le caratteristiche dei terreni più significative dal punto di vista dell'aggressività e le loro relazioni con l'aggressività stessa.

Sono state trovate delle relazioni fra l'aggressività dei terreni e:

- a) la concentrazione dei sali presenti, l'acidità del terreno ed il regime delle precipitazioni [4];
- b) la resistività ed il pH dei terreni [5];
- c) la resistività e il potenziale redox del terreno [6] [7] [8];
- d) la resistività e il contenuto in acqua dei terreni [9].

Per tener conto il più completamente possibile delle caratteristiche fisiche dei terreni, si è proposta una completa metodologia delle analisi dei terreni [10] ed un criterio di interpretazione dei dati delle analisi, attribuendo un indice parziale di aggressività a ciascun parametro considerato [11].

I criteri qui descritti forniscono una valutazione dell'aggressività dei terreni in maniera indiretta, attraverso l'analisi di alcune loro caratteristiche. Non si avrà tuttavia con tali tecniche alcuna indicazione sulla velocità di corrosione istantanea e sull'andamento corrosione-tempo. Il metodo di esposizione diretto offrirebbe soltanto un'immagine molto approssimativa di tale andamento: in effetti sarebbe necessario operare su numerosi campioni ed esaminarli periodicamente dopo averli estratti dal mezzo ambiente, con tutte le complicazioni e gli errori che ciò comporta.

La velocità di corrosione istantanea e la relazione corrosione-tempo sono rilevabili soltanto facendo ricorso a metodi speciali. In questi ultimi anni sono stati fatti diversi tentativi per trovare una relazione fra l'aggressività del terreno ed i dati che si possono ottenere dal rilievo delle curve di polarizzazione.

Nel 1952 Schwerdtfeger e collaboratori [12] valutarono l'aggressività di cinque terreni con un metodo che utilizzava le variazioni di pendenza delle curve di polarizzazione anodica e catodica. Più recentemente sono stati compiuti studi per ricercare una relazione fra l'aggressività dei terreni, la corrente di corrosione (I_{corr} , corrispondente al potenziale di libera corrosione) e la conduttanza di polarizzazione, dedotta dalle curve di polarizzazione [13] [14] [15]. Trabanelli e collaboratori [16] hanno confrontato i dati ottenuti dai relativi diagrammi di polarizzazione

(I_{corr} e conduttanza di polarizzazione) di parecchi terreni, compresi anche terreni ricchi di batteri, con i dati di analisi chimiche elaborate con un metodo simile a quello di Steinrath [11] giungendo a concludere che l'utilizzazione dei metodi elettrochimici permette la determinazione comparativa delle caratteristiche di corrosività assoluta e relativa di terreni debolmente o nettamente aggressivi, ma che per i terreni a media aggressività la valutazione è più difficile.

In effetti, è stata trovata una relazione teorica e del tutto generale fra la resistenza di polarizzazione e la corrente di corrosione (proporzionale alla velocità istantanea di corrosione) [17] [18]. Tuttavia è il caso di ricordare che l'utilizzazione di questa relazione implica la conoscenza delle pendenze delle rette di Tafel anodiche e catodiche.

La difficoltà principale della misura dell'aggressività con i metodi elettrochimici sopra indicati sta dunque nel fatto che essi comportano la necessità di rilevare le curve di polarizzazione e, di conseguenza, di utilizzare densità di corrente a volte molto elevate. In tali condizioni la corrosione dei campioni diviene rilevante e pertanto questi procedimenti possono portare a risultati inesatti.

La misura della conduttanza di polarizzazione può essere fatta con densità di corrente molto piccole; tale misura è consigliabile quando si conosca la relazione fra la I_{corr} e la conduttanza di polarizzazione. Skold e collaboratori [19] avevano già trovato questa relazione per l'acciaio e la ghisa a contatto con vari tipi di acqua.

Arpaia [20] suggerisce un metodo per determinare rapidamente e semplicemente la relazione fra conduttanza di polarizzazione e corrente di corrosione, senza dover tracciare le curve di polarizzazione potenziale-densità di corrente. L'interesse del metodo, oltre che nella sua rapidità e nella semplicità d'esecuzione, sta nel fatto che la tecnica di misura altera molto debolmente le condizioni di corrosione spontanea dei campioni.

SEZIONE I - MISURA DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENTI

2.1.01. - Generalità

Nel presente capitolo viene descritto il metodo proposto da Steinrath per la valutazione dell'aggressività dei terreni [11].

In particolare alcune delle determinazioni descritte, quali la misura della resistività e del pH, sono utilizzate ai fini pratici per la conoscenza delle caratteristiche del terreno lungo un tracciato, nel caso della posa in opera di strutture interrato.

La metodica, nell'insieme delle determinazioni, viene normalmente usata per indagare sui fenomeni di corrosione esistenti e per definire nel modo più completo le caratteristiche dei terreni.

La misura delle caratteristiche dei terreni può essere effettuata con metodi di laboratorio, operando su campioni appositamente prelevati, e con metodi di campagna, operando direttamente in loco.

Per le misure in laboratorio, che si eseguono sempre su campioni, appare anzitutto giustificata l'opportunità di unificare la tecnica del prelievo, sia per quanto riguarda le apparecchiature da impiegare, sia per quanto riguarda le modalità dell'esecuzione.

Il prelievo dei campioni, sui quali vanno eseguite le determinazioni descritte nei paragrafi successivi, si effettua di norma ad una profondità facilmente accessibile.

È raccomandabile che i campioni prelevati risultino «sufficientemente indisturbati», che conservino cioè, per quanto possibile, le caratteristiche di naturale giacitura e ciò in modo particolare per la determinazione in laboratorio della resistività elettrica (2.1.02.), del pH (2.1.03.), del potenziale di ossido riduzione (2.1.04.), dei composti dello zolfo (2.1.08.) e dei batteri solfato-riduttori (2.1.09.).

a) **Campionatura di terreni incoerenti** - Per il prelievo di campioni in terreni incoerenti (sciolti), data la difficoltà di ottenerli «sufficientemente indisturbati», non si possono suggerire tecniche particolari, per cui tanto vale limitarsi a raccogliere una quantità sufficiente di materiale (circa 3 dm³, corrispondenti approssimativamente ad un cubo di cm 15 di spigolo) mediante una comune paletta ed a riporlo in sac-

chetti impermeabili di plastica, entro i quali sigillare al più presto le singole campionature appena estratte.

b) **Campionatura di terreni coerenti** - Per il prelievo di campioni «sufficientemente indisturbati» in terreni coerenti, cioè sufficientemente compatti, si usa la sonda illustrata nelle figg. II-1 e II-2. Essa si compone essenzialmente di un tubo guida (1) alla cui estremità inferiore è avvitato il tubo campionatore a bordo tagliente (2), mentre in quella superiore è infilato il tubo (3) che serve da impugnatura per l'intero attrezzo. Nel tubo guida scorre il complesso pistone-contropistone le cui aste coassiali (4) e (5) terminano, in alto, nel terzo pistone (6); il volantino (7), il cui albero può scorrere nell'asola (8) ricavata lungo una generatrice del tubo guida, viene avvitato a questo terzo pistone. Serrando a fondo il volantino (7) è possibile bloccare l'intero complesso pistone-contropistone in un qualsiasi punto lungo lo scorrimento consentito dall'asola (8), che è di circa 25 cm. Le posizioni estreme di questa asola devono comunque consentire che, in corrispondenza di quella inferiore, il complesso pistone-contropistone fuoriesca con la sua parte conica dal bordo tagliente del tubo campionatore, come indicato dal tratteggio, mentre in corrispondenza di quella superiore assuma la posizione indicata in figura. Facendo ruotare l'eccentrico (9), con l'apposita chiave (10) da inserirsi su apposito perno passante attraverso la seconda asola (11), l'anello in gomma (12) si espande e preme sulla superficie interna del tubo guida, in quanto compresso dal ravvicinamento fra pistone (13) e contropistone (14). In tal modo si realizza la depressione pneumatica che trattiene il terreno contenuto nel tubo campionatore durante l'estrazione della sonda dal terreno.

Le modalità per eseguire un prelievo con l'attrezzo ora descritto, schematizzate in linea di principio nella fig. II-3, sono le seguenti:

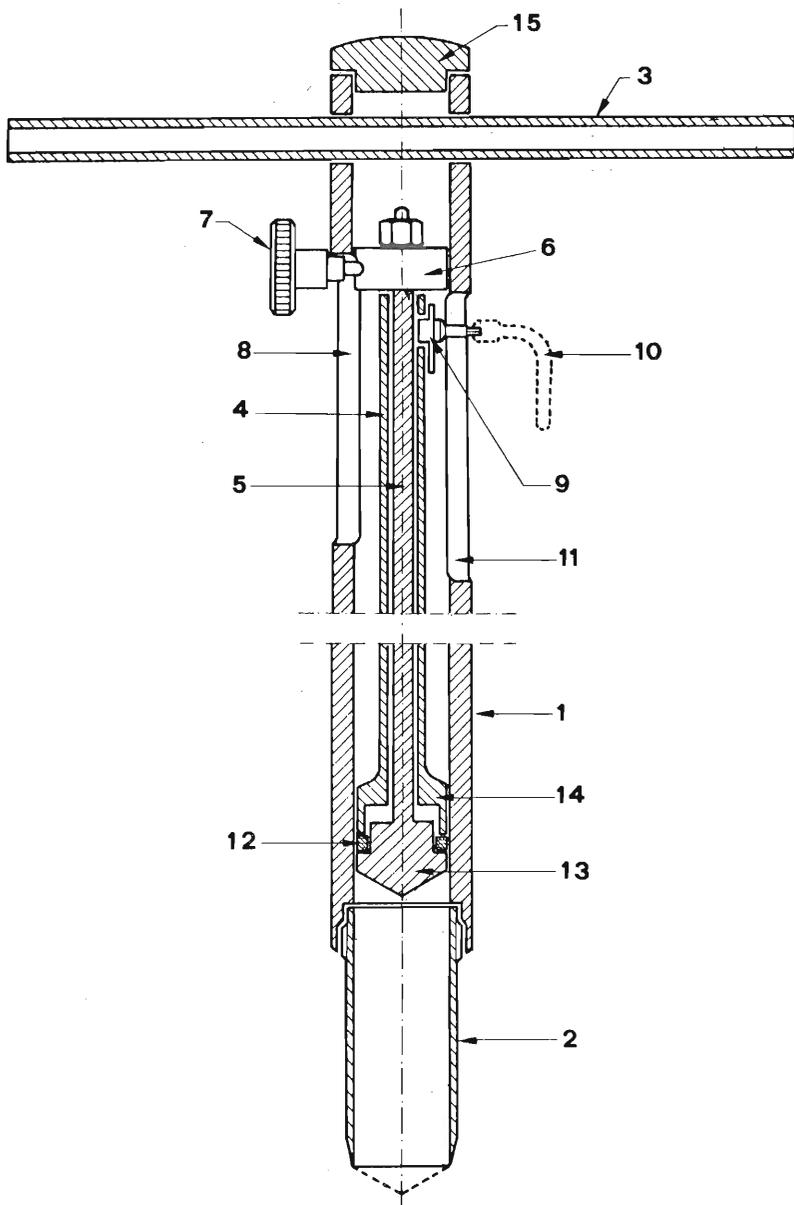


FIG. II-1 - Sonda per il prelievo di campioni «sufficientemente indisturbati» in terreni coerenti.

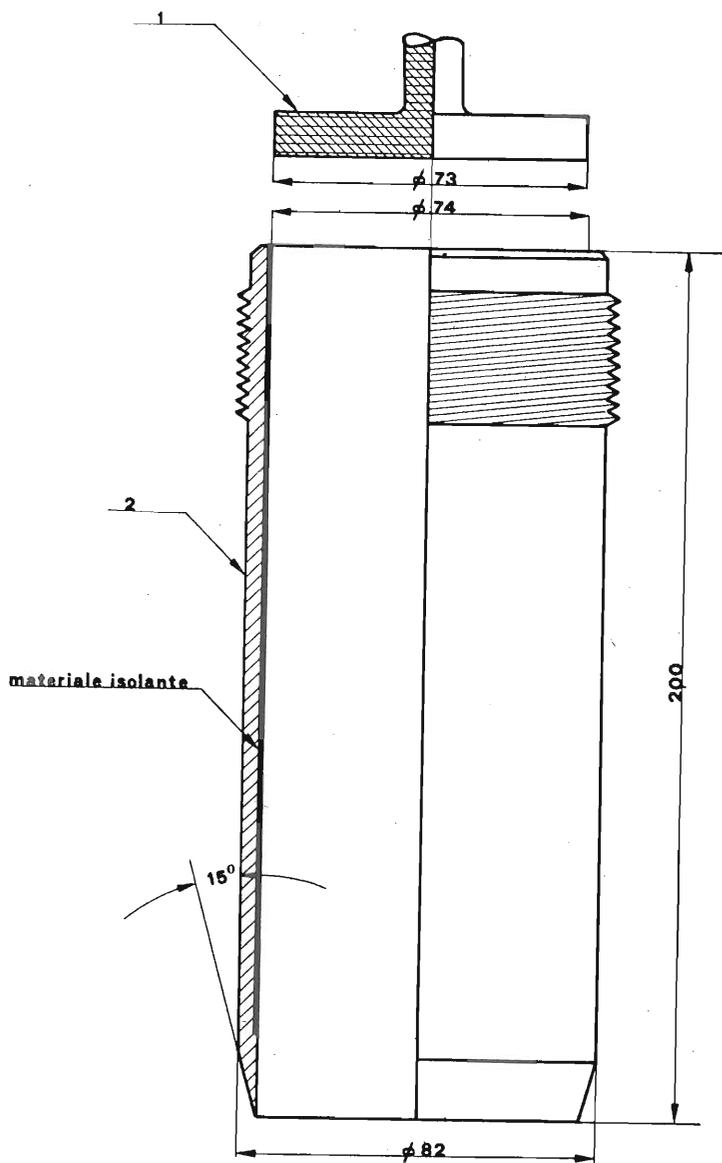


FIG. II-2 - Parte terminale della sonda per il prelievo del campione di terreno.

- 1) Espulsore in materiale isolante;
- 2) Tubo campionatore in acciaio temprato.

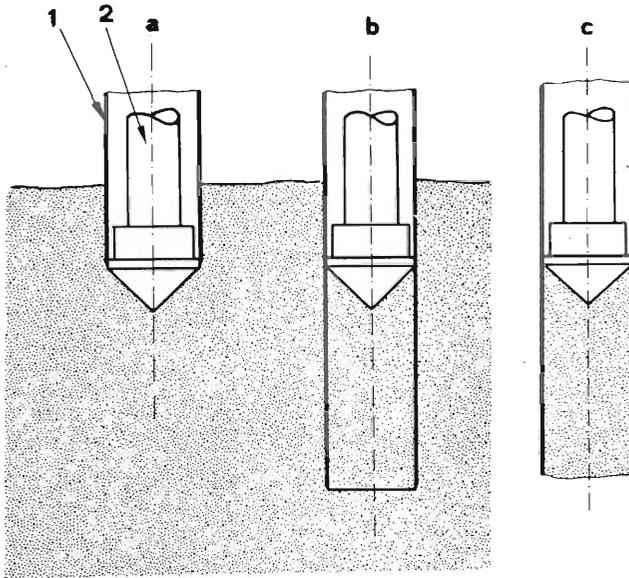


FIG. II-3 - Prelevamento «sufficientemente indisturbato» del campione.

- 1) Tubo;
2) Asta del pistone a punta conica.

Sequenza delle operazioni:

- a) *Introdurre il tubo munito di pistone in un foro già trivellato e spingere il cono contro il terreno.*
b) *Lasciare il pistone alla profondità voluta e infiggere il tubo.*
c) *Sfilare tubo e pistone dal terreno.*

1) si blocca il complesso pistone-contropistone nella sua posizione più bassa, cioè in corrispondenza della fuoruscita del cono dal tubo campionatore, e si verifica che l'eccentrico (9) sia in posizione di riposo;

2) si esegue un foro, con una trivella a mano a lama eli-

coidale, arrestandosi a circa 20 cm dalla profondità alla quale si vuole fare il prelievo; si introduce nel foro la sonda predisposta come indicato al punto 1) spingendola fino a che il cono del pistone abbia raggiunto completamente il fondo;

3) si sblocca ora il complesso pistone-contropistone e, per rotazione o con colpi di martello sulla testa della sonda (15), si affonda l'attrezzo per altri 25 cm circa, riempiendo così il tubo campionatore (2) di terreno, mentre il complesso pistone-contropistone, scorrendo nel tubo guida, avrà raggiunto la posizione più alta;

4) si introduce infine la chiave (10) con la quale si ruota l'eccentrico, quindi si estrae rapidamente la sonda.

Per la conservazione ed il trasporto del campione così prelevato si può procedere come indicato schematicamente in fig. II-4. A tal fine basterà riportare l'eccentrico in posizione di riposo e trasferire a pressione la «carota» nell'apposito recipiente isolante illustrato in figura. Lo stesso risultato si può comunque conseguire più agevolmente svitando il tubo campionatore dal tubo guida e spingendo la carota con l'espulsore di cui alla fig. II-2. Quando sia richiesta la migliore conservazione del campione, conviene sfruttare come contenitore lo stesso tubo campionatore, le cui pareti interne sono ricoperte di materiale isolante. In tal caso, una volta svitato il tubo campionatore dal tubo guida, si pareggiano le superfici del terreno alle due estremità e si ricoprono le stesse con paraffina fusa. Per non riscaldare eccessivamente il terreno si deve usare paraffina con un punto di fusione di $50 \div 60$ °C.

In considerazione della suddetta possibilità e del fatto che analoghi campioni debbono essere prelevati in più punti, sarà necessario che la sonda sia dotata di un certo numero di tubi campionatori.

2.1.02. - Resistività del terreno e sua determinazione

a) **Generalità** - La resistività del terreno può essere mi-

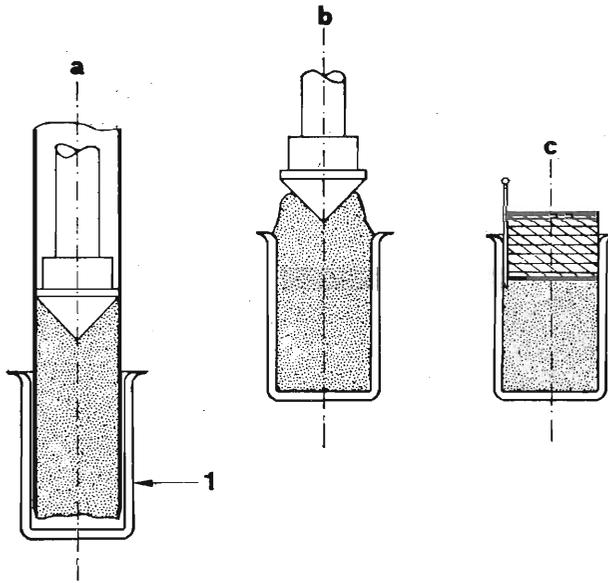


FIG. II-4 - Trasferimento del campione.

1) Recipiente isolante.

Sequenza delle operazioni:

- a) *Sull'estremità del tubo viene infilato un recipiente isolante.*
- b) *Si comprime il terreno mediante il pistone nel recipiente e si sfila il tubo dopo aver fatto in modo che l'aria sfugga dall'interstizio completamente.*
- c) *Tolto il terreno superfluo il vaso viene chiuso con un tappo di gomma, infilando tra questo e il vaso un chiodo per facilitare l'uscita dell'aria fra il tappo e il terreno. Quando il tappo risulta a contatto del terreno viene estratto il chiodo.*

surata in loco con il metodo di Wenner, o dei quattro elettrodi; si può operare disponendo i quattro elettrodi sulla super-

ficie del terreno, come indicato in b); oppure introducendo nel terreno stesso un apposito elettrodo a barra, come indicato in c).

Entrambi i metodi presentano il vantaggio di non alterare le caratteristiche proprie del terreno, nella sua giacitura naturale.

Se la misura della resistività si esegue su un campione estratto dal terreno considerato, essa può essere effettuata in apposita cella, come indicato in d).

La resistività del terreno viene espressa in $\Omega \cdot m$.

Per ottenere una rappresentazione grafica della resistività del terreno lungo un determinato tracciato, in un sistema di coordinate cartesiane, si riportano i valori di essa in funzione delle distanze progressive. Queste ultime vengono rappresentate in scala lineare sulle ascisse, mentre la resistività viene riportata in ordinate con scala preferibilmente logaritmica.

La fig. II-5 illustra un esempio di curve relative a 3 diversi valori della distanza a tra gli elettrodi (vedasi metodo di misura in b).

Per una rappresentazione dell'andamento della resistività su superfici più o meno estese del terreno, necessaria, per esempio, nel caso di costruzione di impianti di terra, si misurano le resistività ai punti di incrocio di un reticolo «ortogonale» che suddivide la superficie considerata. Si uniscono quindi fra loro con una linea continua i punti con uguale valore di resistività, individuabili anche mediante opportune interpolazioni. Si ottiene in tal modo la rappresentazione delle curve «isoresistive» della superficie esaminata (fig. II-6).

b) Determinazione della resistività del terreno col metodo dei quattro elettrodi in superficie (Wenner) - Per le misure della resistività in superficie si impiegano quattro aste metalliche (elettrodi) lunghe circa 500 mm, con diametro di circa 10 mm. Esse vengono infisse nel terreno a distanze egua-

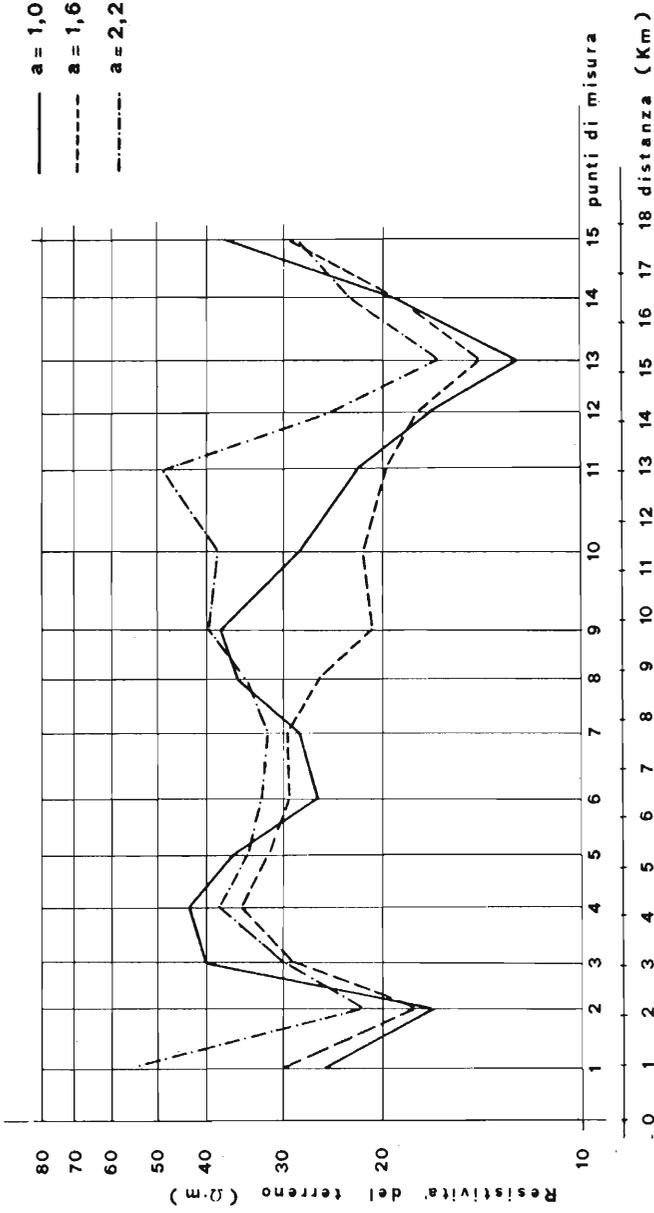


Fig. II-5 - Profilo della resistività del terreno.

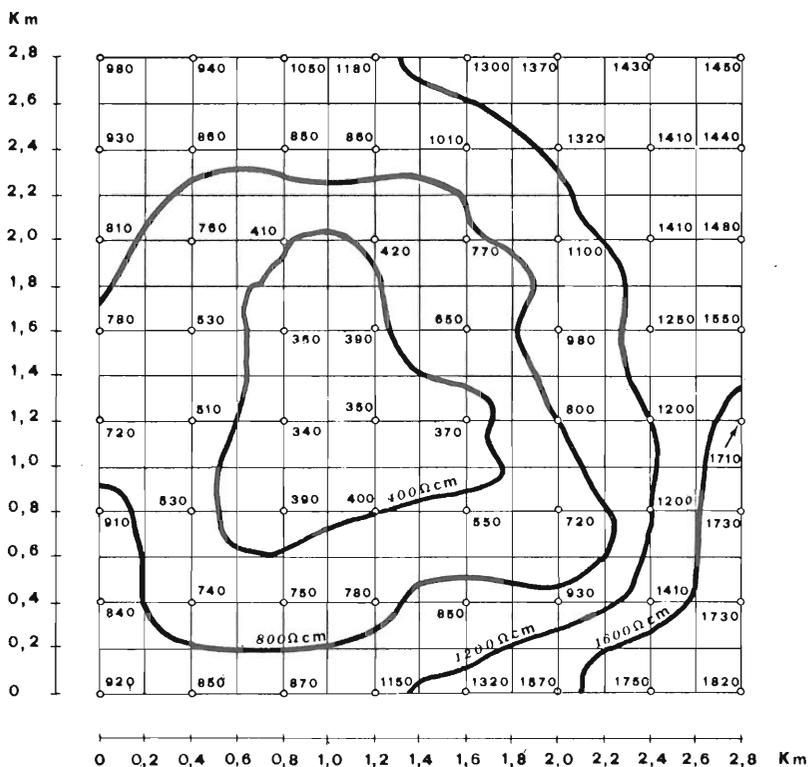


FIG. II-6 - Distribuzione della resistività del terreno ($\Omega\cdot\text{cm}$) sulla mappa di una zona.

li secondo un allineamento rettilineo ¹ e collegate ad un misuratore di resistenza a quattro morsetti alimentato da un generatore a corrente alternata di frequenza opportuna (fig. II-7).

¹ Si richiama l'attenzione sul fatto che la presenza di strutture metalliche interrate può alterare i risultati della misura. Pertanto in presenza di condutture metalliche interrate può, ad esempio, essere opportuno realizzare un allineamento perpendicolare al tracciato delle stesse, sistemando tutti gli elettrodi dallo stesso lato rispetto alla condotta (fig. II-8).

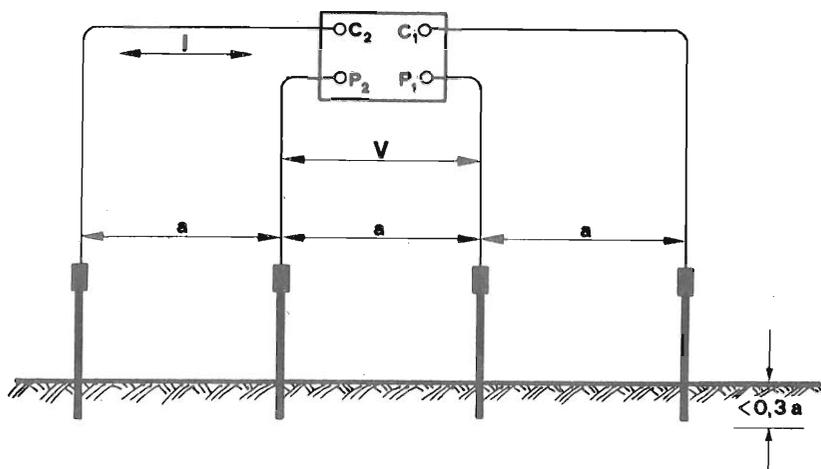


FIG. II-7 - Misura della resistività del terreno con il metodo (Wenner) dei quattro elettrodi in superficie.

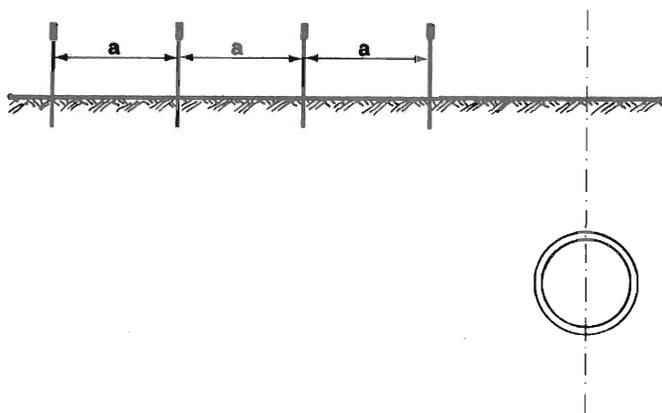


FIG. II-8 - Disposizione degli elettrodi nel caso di presenza di una struttura interrata.

Nel caso di distanze interelettrodiche relativamente piccole (inferiori a 1 m) conviene utilizzare elettrodi più corti (ad es. 250 ÷ 300 mm). La profondità di penetrazione degli elettrodi nel terreno non deve superare 0,3 **a** essendo **a** la distanza fra un elettrodo e l'altro: con ciò l'errore di misura non dovrebbe superare il 5% del valore teorico ottenibile considerando contatti puntiformi.

La profondità del terreno interessata dalla misura è dell'ordine della distanza interelettrodica **a**.

Con questo metodo non si ottiene il valore della media aritmetica della resistività fino alla profondità suddetta, dato che gli strati più superficiali possono contribuire maggiormente al risultato della misura di quelli più profondi; il valore trovato secondo questo procedimento viene perciò indicato come «*resistività apparente*».

Per una distanza interelettrodica di **a** metri, si può calcolare la resistività apparente secondo la formula:

$$\rho = 2\pi a R \quad (\text{in } \Omega \cdot \text{m})$$

dove *R* (resistenza fra gli elettrodi interni in fig. II-8) si ottiene dalla:

$$R = \frac{V}{I} \quad (\text{in } \Omega)$$

Per ottenere un valore di ρ il più prossimo possibile a quello del terreno a diretto contatto con le strutture (tubi, cavi, ecc.), la distanza interelettrodica dovrebbe essere pari ad una volta e mezzo la loro profondità di interrimento: in pratica però, per misure orientative, gli elettrodi possono essere disposti ad una distanza **a** = 1,60 m tale da far assumere al fattore $2\pi a$ il valore di 10, il che semplifica il calcolo di ρ .

Volendo avere maggiori informazioni sui valori di resistività a livelli progressivamente più profondi, si effettueranno misure successive aumentando le distanze interelettrodiche

(possibilmente secondo multipli di 1,6) sino a raggiungere la profondità desiderata.

Per una misura *localizzata* su terreni ritenuti aggressivi, nei quali si siano riscontrati guasti per corrosione, è opportuno operare su un limitato volume degli stessi. A tale scopo occorre eseguire un piccolo scavo, il più vicino possibile al punto dell'attacco corrosivo, avendo cura che tale scavo presenti superfici piane sia verticalmente che orizzontalmente; in tali superfici si infiggono quattro piccoli elettrodi la cui distanza reciproca può essere ridotta a 0,048 m ($2\pi a = 0,30$).

In pratica tale disposizione si ottiene fissando gli elettrodi su di una intelaiatura rigida di materiale isolante.

Dato che per distanze interelettrodiche molto piccole anche il fattore $2\pi a$ è molto piccolo, lo strumento misuratore di resistenza impiegato in questo tipo di misura deve possedere portate sufficientemente elevate, specie in presenza di terreni ad elevata resistività (infatti sarà $R \geq 1000 \Omega$ se $\rho \geq 300 \Omega \cdot m$).

Inoltre la limitata penetrazione degli elettrodi di misura, data la piccola distanza fra gli stessi, riduce la superficie di contatto fra questi ed il terreno, con conseguente elevata resistenza (verso il terreno) delle sonde potenziometriche: in questi casi, per evitare forti errori di misura, è necessario impiegare strumenti con resistenza voltmetrica grande rispetto a quella delle sonde potenziometriche.

c) Determinazione della resistività del terreno con elettrodo a barra - Se si desidera misurare le resistività del terreno in una zona localizzata ad una certa profondità, in modo da ridurre il contributo degli strati superiori del medesimo, si usa allora un particolare elettrodo a barra. Tale elettrodo consiste in un tubo in materiale isolante (per es. resina sintetica) portante quattro elettrodi in acciaio inossidabile (1÷4) di cui l'inferiore (1) è conico e gli altri troncoconici (fig. II-9). È opportuno che l'elettrodo sia smontabile.

Se si pratica un foro preliminare nel terreno mediante una trivella sottile si può, servendosi di una prolunga, effettuare

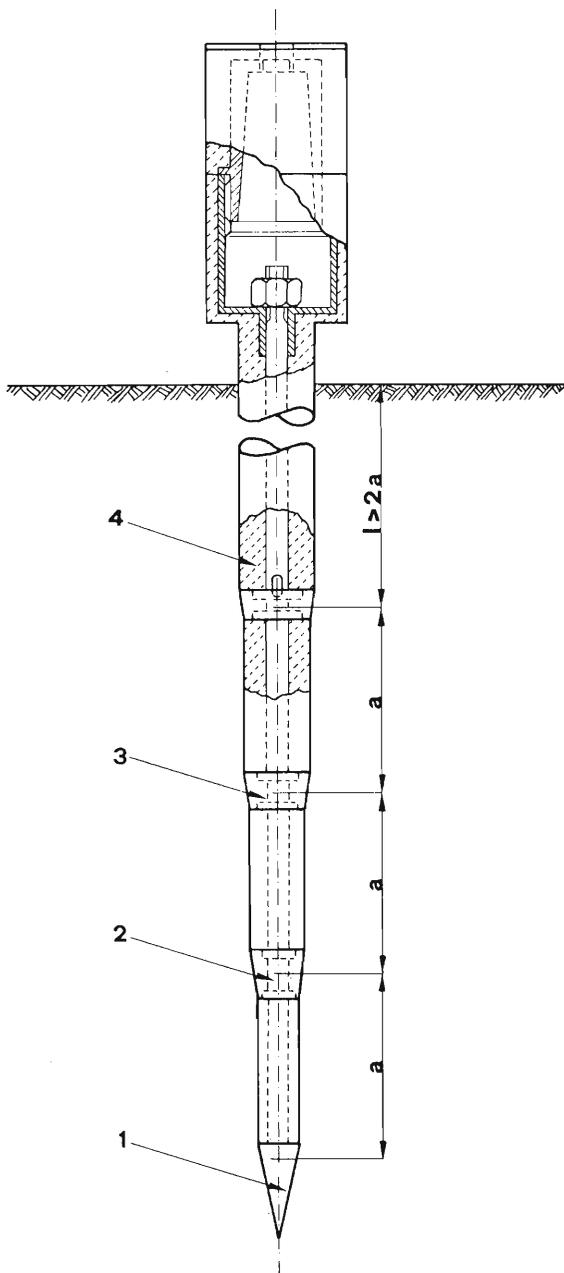


FIG. II-9 - Elettrodo a barra per la misura della resistività del terreno.

misure anche a diversi metri di profondità.

La barra deve essere infilata nel terreno in modo che la distanza dell'elettrodo superiore a partire dalla superficie del terreno, o dalla profondità già raggiunta dalla trivella, sia $l \geq 2a$, essendo a (in m) la distanza interelettrodica. Per una data distanza a ed una resistenza misurata R , la resistività del terreno si ricava dalla formula:

$$\rho = 4\pi a R$$

Poiché per l'elettrodo a barra la distanza interelettrodica a rimane costante si ha:

$$K = 4\pi a$$

$$\rho = K R$$

A causa della forma e delle dimensioni degli elettrodi, il valore di K , desunto dalla formula, si può calcolare solo approssimativamente; è consigliabile perciò una determinazione sperimentale del fattore K immergendo il dispositivo in un elettrolita a resistività nota.

A tale scopo si può usare una soluzione 0,01 N di cloruro di potassio che, a 18 °C, ha resistività $\rho = 8,16 \Omega \cdot \text{m}$. La misura deve essere effettuata in una vasca di materiale isolante di opportune dimensioni.

d) Determinazione della resistività del terreno con cella di misura - La misura della resistività del terreno può essere eseguita in apposita cella su un campione del terreno stesso.

Un tale dispositivo presenta il vantaggio di poter operare con una distribuzione quasi uniforme delle correnti di misura e di ridurre notevolmente le resistenze di contatto in corrispondenza degli elettrodi, i quali presentano superfici piane di notevoli dimensioni relative.

Come già accennato all'alinea 2.1.01., le azioni meccaniche conseguenti al prelievo ed alla introduzione del campio-

ne nella cella alterano le caratteristiche fisiche originarie del terreno e quindi la sua resistività rispetto alle condizioni di naturale giacitura.

Tali azioni di disturbo sono generalmente più accentuate per i terreni sciolti che non per quelli coerenti. Per quest'ultimi infatti, eseguendo il prelievo con la tecnica descritta in 2.1.01., è possibile ottenere campioni sufficientemente indisturbati dal punto di vista fisico.

La determinazione della resistività su campioni qualsiasi di terreno si effettua mediante la cella illustrata nella fig. II-10. Due elettrodi a piastra circolari, di acciaio inossidabile, costituiscono le basi della camera cilindrica che è in materiale isolante: tali elettrodi sono fissati esternamente con dadi a galletto, in modo da facilitarne lo smontaggio e quindi l'introduzione e la rimozione del campione di terreno. Per le stesse ragioni le due sonde centrali, anch'esse in acciaio inossidabile, sono estraibili.

Nel caso di dover misurare la resistività di un terreno sciolto (ad es. sabbie asciutte e materiali pulverulenti in genere) basta porre la cella in posizione verticale, rimuovere l'elettrodo superiore a piastra, estrarre le due sonde centrali e versare dall'alto il terreno «a pioggia» fino a farlo traboccare completamente. Si asporta quindi il conoide di eccesso con una lamina metallica a spigolo vivo, fatta scorrere appoggiata al bordo superiore della camera. Il piano così ottenuto viene a contatto con la superficie interna dell'elettrodo a piastra, il quale, serrato a mezzo dei quattro galletti, penetra per 3 mm nell'interno della camera stessa, assicurando un miglior contatto ed uno «standard» di compattazione.

Nel caso di dover misurare la resistività di un terreno coerente prelevato con la sonda e con le modalità descritte all'alinea 2.1.01. b), questo, rimosse le chiusure di paraffina, viene spinto mediante l'espulsore (1) di fig. II-2 direttamente dal tubo campionatore nella camera cilindrica della cella di

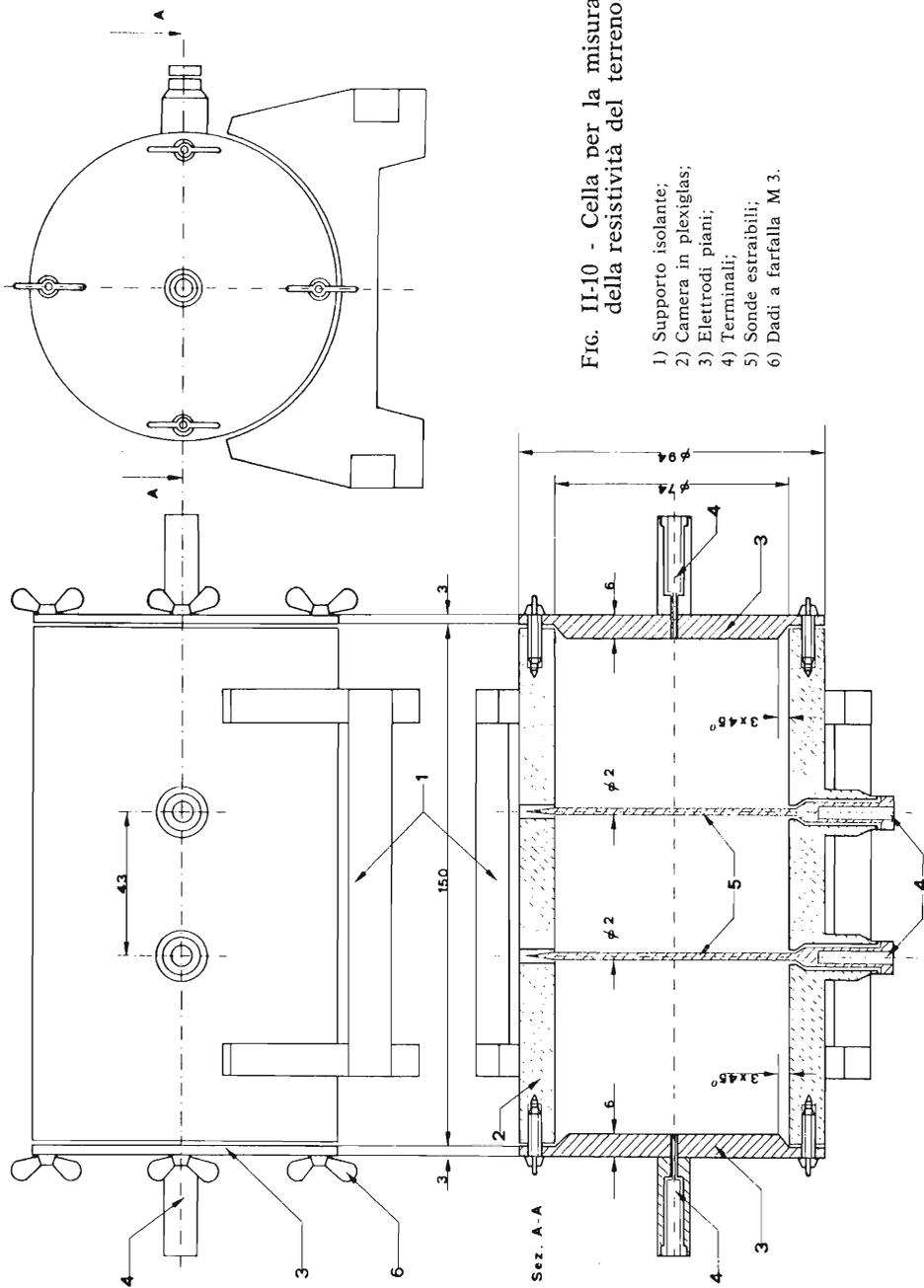


Fig. II-10 - Cella per la misura della resistività del terreno.

- 1) Supporto isolante;
- 2) Camera in plexiglas;
- 3) Elettrodi piani;
- 4) Terminali;
- 5) Sonde estraibili;
- 6) Dadi a farfalla M 3.

misura, che ha lo stesso diametro di tale tubo, dalla quale sono stati rimossi entrambi gli elettrodi a piastra oltre alle due sonde centrali. Con una lamina metallica a spigolo acuto fatta scorrere appoggiata ad uno dei bordi della camera, si asporta e si liscia dapprima una delle due basi e si applica l'elettrodo a piastra circolare. Si ripete poi l'operazione per la base opposta e si applica il secondo elettrodo che, serrato a mezzo dei galletti, riduce di 3 mm la lunghezza della camera stessa, assicurando anche in questo caso un miglior contatto e uno standard di compattazione. Si introducono infine i due elettrodi a sonda e si procede alle misure. La misura di tensione alle due sonde interne deve essere eseguita con voltmetro ad alta resistenza interna o con un dispositivo potenziometrico per ridurre gli errori di misura.

Essendo S la superficie interna degli elettrodi a piastra della cella, l la distanza fra le sonde interne ed R la resistenza misurata, la resistività è data da:

$$\rho = \frac{S}{l} R$$

Poiché S/l è una costante di ogni cella di misura si ha:

$$S/l = k \quad \rho = kR$$

Nella fig. II-10 la superficie interna degli elettrodi piani è $S = 43 \text{ cm}^2$ e la distanza $l = 4,3 \text{ cm}$, per cui:

$$k = \frac{43}{4,3} = 10 \text{ cm} = 0,10 \text{ m}$$

$$\rho = 0,10 R \quad (\text{in } \Omega \cdot \text{m})$$

La temperatura del terreno nella sua giacitura naturale deve essere misurata e notata.

Le variazioni di temperatura rispetto a quella misurata in loco comportano una correzione pari al 2,5% per ogni °C sul valore misurato della resistenza R : tale correzione va sommata se la temperatura dell'ambiente di misura è superiore a quella annotata in loco, sottratta nel caso contrario.

2.1.03. - pH del terreno e sua determinazione

a) **Generalità** - Il pH misura il grado di acidità o alcalinità attuali ed è uguale a $\log \frac{1}{[H^+]}$ dove $[H^+]$ è l'attività degli ioni idrogeno.

Per pH del terreno si intende quello delle soluzioni acquose che permeano il terreno stesso.

Per la determinazione del pH del terreno si considerano solamente i metodi elettrometrici, in quanto gli indicatori colorimetrici forniscono spesso valori molto imprecisi.

Come elettrodo di riferimento viene generalmente adoperato l'elettrodo a calomelano saturo e come elettrodo di misura l'elettrodo a vetro, eventualmente combinati in una unica sonda.

La misura del pH si esegue mediante un voltmetro elettronico con resistenza di ingresso dell'ordine di $10^{12} \Omega$.

Il risultato viene dato in unità pH, generalmente con approssimazione alla prima cifra decimale. La determinazione può essere fatta direttamente sul posto nel terreno, oppure su campione di terreno opportunamente prelevato.

Prima di ogni misura o di ogni serie di misure consecutive, le apparecchiature debbono essere tarate con soluzioni a valore di pH noto, normalmente reperibili in commercio.

b) **Determinazione del valore del pH nel terreno** - Per la determinazione del pH nel terreno viene generalmente adoperata una sonda che porta all'estremità l'elettrodo di misura e quello di riferimento.

Con una trivella si perfora il terreno fino alla profondità voluta, quindi si introduce l'elettrodo sonda, premendolo sul fondo del foro.

Per terreni molto secchi il fondo della trivellazione viene inumidito con acqua distillata prima dell'introduzione dell'elettrodo sonda.

Durante il trasporto gli elettrodi vengono preservati con un cappuccio di gomma o meglio di plastica rigida, riempito con acqua distillata (se l'elettrodo è a vetro o combinato) o con soluzione satura di cloruro di potassio (se l'elettrodo è a calomelano).

Con l'uso di sonde che portano accanto all'elettrodo a vetro ed a quello a calomelano anche un elettrodo di platino è possibile, mediante commutazione, misurare anche il potenziale di ossido-riduzione.

c) Determinazione del valore del pH su campioni di terreno prelevati - *Metodo A* - I campioni di terreno prelevati con le modalità di cui in 2.1.01.b) e con contenuto di acqua inferiore a circa il 50% in peso del totale (cioè una parte di terreno secco sta a due parti di acqua in volume) vengono mescolati nel rapporto di 1 parte di terreno con 2 parti di acqua distillata in volume.

I campioni di terreno con contenuto di acqua più elevato, ad esempio melme o fanghi, vengono adoperati tal quali.

Metodo B - A circa 40 cm³ di terreno, posto in un bicchiere da 50 cm³, si aggiunge lentamente acqua distillata senza agitare, finché l'intera massa di terreno si ammorbidisce. Poi si agita e si aggiunge acqua goccia a goccia finché, praticando un foro nella massa, questo si richiude rapidamente. Dopo un'ora si esegue la misura del pH.

2.1.04. - Potenziale di ossido-riduzione del terreno e sua determinazione

a) **Generalità** - Il potenziale di ossido-riduzione (E_{redox}) è il potenziale che assume un elettrodo di platino nudo immerso nel terreno da esaminare rispetto ad un elettrodo normale a idrogeno. Tale grandezza esprime il potere ossidante o riducente dell'ambiente in esame.

Detto potenziale dipende dalla temperatura e dall'attività dello ione idrogeno, perciò per la sua valutazione si debbono prendere in esame anche il pH e la temperatura del terreno.

I sistemi redox raggiungono un potenziale costante solo dopo diverse ore; in tale intervallo il potenziale è instabile in quanto il valore di E_{redox} varia per influenze esterne al sistema stesso, quale ad esempio l'assorbimento di ossigeno atmosferico.

La presenza di idrogeno solforato può determinare un «avvelenamento» dell'elettrodo di platino e portare a sensibili errori di misura.

È comunque necessario, per ogni determinazione, ripulire gli elettrodi di platino usando acqua distillata o una soluzione acquosa al 10% di acqua ossigenata.

La catena di elettrodi deve essere controllata con soluzioni a potenziale redox conosciuto prima di ogni misura o serie di misure. Poiché l'elettrodo a idrogeno è di difficile impiego si usa in pratica, come elettrodo di riferimento, l'elettrodo a calomelano saturo (ECS).

Il potenziale misurato rispetto all'elettrodo a calomelano saturo viene riferito all'elettrodo normale a idrogeno mediante la relazione:

$$E_{\text{redox}/\text{H}_2} = E_{\text{redox}/\text{ECS}} + E_{\text{ECS}/\text{H}_2} \quad (\text{in V})$$

Il potenziale dell'elettrodo a calomelano saturo, riferito all'elettrodo normale a idrogeno, è a 25 °C:

$$E_{ECS/H_2} = + 0,241 \text{ V}$$

Il coefficiente di temperatura è dato da:

$$\frac{dE}{dt} = \pm 0,76 \cdot 10^{-3} \text{ V/}^\circ\text{C} \quad \begin{array}{l} + \text{ per } t < 25^\circ\text{C} \\ - \text{ per } t > 25^\circ\text{C} \end{array}$$

b) Soluzioni per il controllo della catena di elettrodi di misura

1) Soluzione satura di cromato di potassio, portata a pH 2,0 con acido solforico.

2) Soluzione satura di anidride solforosa in acqua, portata a pH 6,0 con idrato sodico.

SOLUZIONE	t	$E_{\text{redox}/ECS}$ V	E_{redox/H_2} V
1	18° C	+ 0,590 a pH 2,0	+ 0,837 a pH 2,0
2	18° C	- 0,102 a pH 6,0	+ 0,144 a pH 6,0

c) **Determinazione del potenziale redox su provini di terreno prelevati** - Il prelevamento a mezzo di sonda viene eseguito con le modalità descritte nell'alinea 2.1.01. b), ed è possibile solo per terreni sufficientemente compatti.

Per l'esecuzione della misura lo strato superiore di paraffina viene asportato e gli elettrodi vengono subito introdotti, il più profondamente possibile, nel campione di terreno in modo da non interessare le zone marginali disturbate.

Si consiglia di effettuare almeno 3 misure con diversa posizione degli elettrodi.

Una delle disposizioni degli elettrodi che può essere utilizzata è quella riportata nella fig. II-11. Analoghe misure vengono ripetute dalla parte opposta del provino.

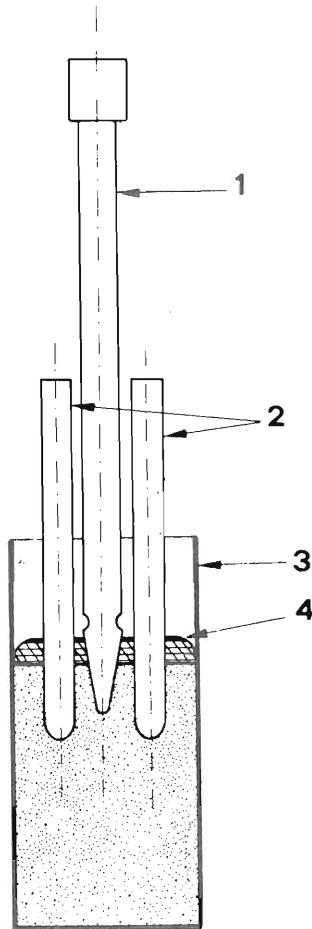


FIG. II-11 - Disposizione degli elettrodi per la determinazione del potenziale redox.

- 1) Elettrodo a calomelano;
- 2) Elettrodi di platino;
- 3) Recipiente isolante;
- 4) Tappo di gomma.

Si può eseguire il prelievo del provino con il metodo rappresentato nella fig. II-1 e successive. I provini così prelevati vengono utilizzati anche per la determinazione dei composti dello zolfo e dei batteri solfato-riduttori.

d) Determinazione del potenziale redox sul terreno -

Per la determinazione del potenziale redox sul terreno viene utilizzato un elettrodo a barra costituito da un tubo di resina sintetica portante all'estremità una punta conica in platino e contenente all'interno l'elettrodo a calomelano saturo (fig. II-12).

Nell'eseguire, mediante trivellazione, la sede dell'elettrodo nel terreno, occorre fare attenzione che nella sede stessa non si raccolga terreno sbriciolato per evitare alterazioni nel rilievo.

È consigliabile effettuare anche il rilievo del pH sul terreno esaminato. Dopo l'estrazione dell'elettrodo a barra, il fondo del foro viene inumidito e in esso si esegue la misura del pH. Mediante l'impiego di un elettrodo a barra che accanto all'elettrodo di platino e a calomelano porti anche un elettrodo a vetro è possibile, mediante commutazione, determinare sia il valore del potenziale redox, sia il valore del pH.

2.1.05. - Contenuto in acqua o in sostanza secca e loro determinazione

a) Generalità - Per contenuto in acqua di un terreno umido si intende il rapporto percentuale del peso di acqua presente rispetto al peso totale. Sottraendo questo contenuto in acqua da 100, si ottiene il contenuto in sostanza secca riferito al terreno umido. Per la determinazione del contenuto in acqua vengono pesati circa 10 grammi di terreno che, versati in un crogiuolo di porcellana o in una capsula di incenerimento, si lasciano riscaldare in stufa per 2 ore a 105 °C.

Il provino, dopo raffreddamento in essicatore, viene pe-

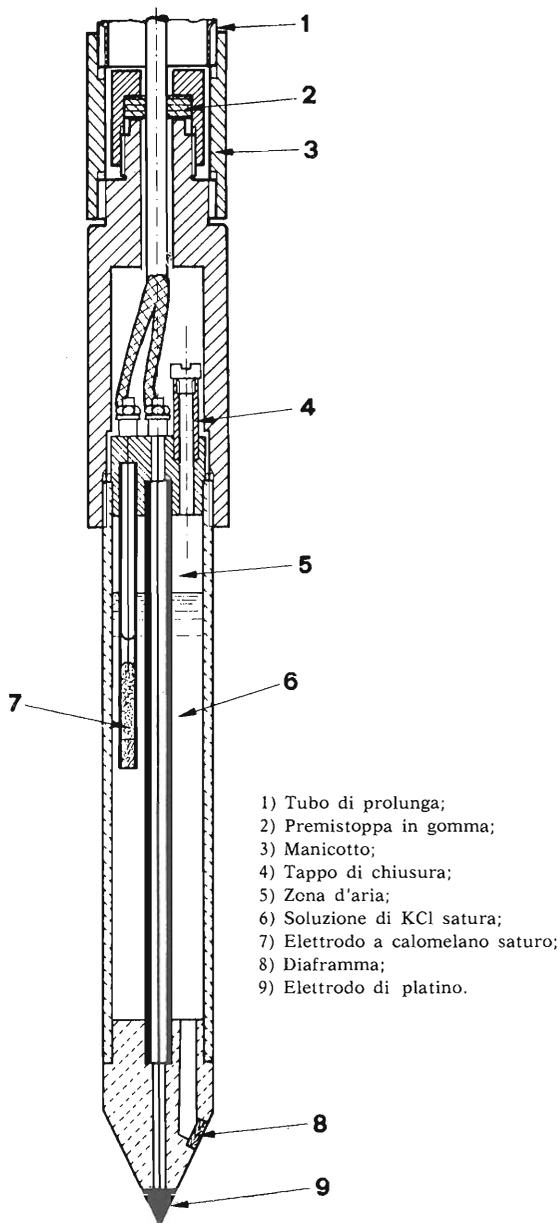


FIG. II-12 - Elettrodo a barra.

sato e quindi riscaldato una seconda volta per 1 ora a 105 °C.

Tale procedimento viene ripetuto fino a raggiungere un peso costante. Con tale metodo tuttavia non si elimina l'acqua legata.

b) Calcoli

1) Contenuto percentuale d'acqua rispetto al peso totale, A_p .

Siano:

— P , in grammi, la pesata iniziale del terreno umido

— A , in grammi, la perdita di acqua a peso costante raggiunto.

Ne segue:

$$A_p = \frac{A \cdot 100}{P}$$

2) Contenuto percentuale di acqua rispetto al terreno secco, A_s .

Siano:

— P , in grammi, la pesata iniziale di terreno umido

— S , in grammi, il residuo secco.

Ne segue:

$$A_s = \frac{(P - S) \cdot 100}{S}$$

Per la conversione di A_p in A_s e viceversa valgono le relazioni:

$$A_p = \frac{100 \cdot A_s}{100 + A_s}$$

$$A_s = \frac{100 \cdot A_p}{100 - A_p}$$

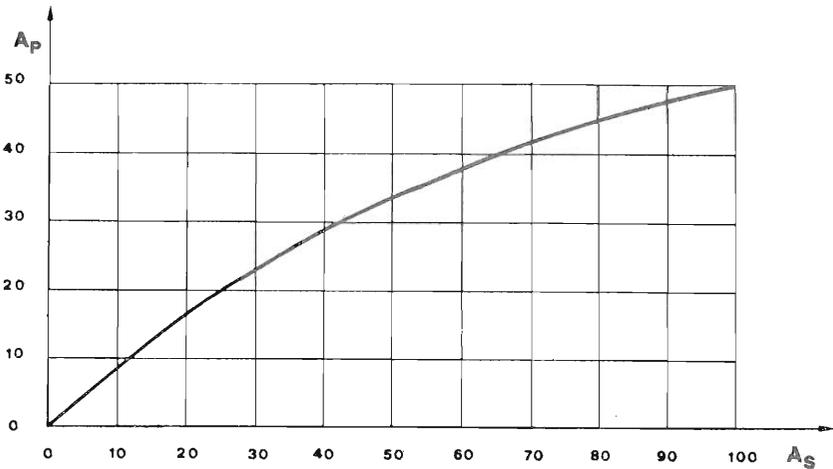


FIG. II-13 - Grafico per la determinazione del contenuto percentuale in acqua rispetto al peso totale (A_p), dato il contenuto percentuale rispetto al terreno secco (A_s) e viceversa.

Per ricavare A_p da A_s e viceversa si può usare la rappresentazione grafica di fig. II-13.

2.1.06. - Capacità in acqua e sua determinazione

a) **Generalità** - Per capacità in acqua si intende il quantitativo in acqua che un terreno può assorbire fino a saturazione (si confronti il metodo B dell'alinea 2.1.03. c).

La determinazione della capacità in acqua può essere effettuata con vari metodi, sia per determinazioni in campagna, sia in laboratorio. Va comunque tenuto presente che sono tra loro confrontabili i risultati ottenuti con lo stesso metodo.

Qui di seguito ci si limita a descrivere solo un metodo di laboratorio.

Per la determinazione della capacità in acqua, 20 grammi di terreno vengono diluiti in un mortaio con un quantitativo di acqua tale che, dopo il mescolamento, rimanga nel terreno un eccesso di acqua non più assorbibile dal terreno stesso.

I terreni argillosi o fangosi vengono stemperati con un pestello o impastati con una spatola, finché il terreno diventa liquido ed uniforme; i terreni sabbiosi vengono mescolati soltanto con una spatola, per evitare la frantumazione dei grani. La maggior parte del terreno così trattato viene trasferita su un filtro umido posto su un imbuto, lasciando sgocciolare completamente l'acqua in eccesso. Ciò richiede al massimo 5 ore, anche per i terreni molto assorbenti.

Per evitare l'evaporazione dell'acqua durante questa operazione, l'imbuto viene ricoperto con un vetro. Dopo l'eliminazione dell'acqua in eccesso, si preleva dal filtro un campione di terreno e su di esso si determina il contenuto in acqua secondo il metodo descritto in 2.1.05. Il risultato ottenuto con quest'ultima operazione costituisce la capacità in acqua.

Questo metodo, dato il notevole mescolamento cui è soggetto il terreno durante l'operazione, fornisce valori più alti rispetto a quelli ottenuti con altri metodi. La sua esecuzione è molto semplice e permette di ottenere valori riproducibili.

Come già detto per il contenuto in acqua (2.1.05), occorre distinguere tra la capacità in acqua rispetto al peso totale C_p (riferita al terreno umido) e la capacità in acqua rispetto al secco C_s (riferita ad un terreno essiccato al 100%).

b) Calcoli

1) Capacità in acqua rispetto al peso totale C_p

Posti:

— P , in grammi, la pesata iniziale di terreno saturo di acqua

— A , in grammi, la perdita d'acqua a peso costante raggiunto,

si ha:

$$C_p = \frac{A \cdot 100}{P}$$

2) Capacità percentuale in acqua rispetto al peso secco, C_s

Posti:

— P , in grammi, la pesata di terreno saturo d'acqua

— S , in grammi, il residuo secco,

si ha:

$$C_s = \frac{(P - S) \cdot 100}{S}$$

Per la conversione di C_p in C_s e viceversa valgono le relazioni:

$$C_p = \frac{100 \cdot C_s}{100 + C_s}$$

$$C_s = \frac{100 \cdot C_p}{100 - C_p}$$

2.1.07. - Determinazione dell'acidità totale dei terreni

Per acidità totale di un terreno s'intende il contenuto di sostanze acide, dissociate e non dissociate, presenti in quel terreno. La sua determinazione viene effettuata mediante neutralizzazione con basi a titolo noto.

Il terreno da esaminare viene seccato, polverizzato e setacciato attraverso un vaglio da 20 maglie. In due beker da 50 ml vengono poste due porzioni di terreno da 5 g l'una e trattate con 25 ml di soluzione 1 N di NaCl a temperatura ambiente. Dopo aver agitato le soluzioni si aggiunge, mediante pipetta, un ml di soluzione 0,2 N di Na_2CO_3 in un beker

e 2 ml nell'altro (1 ml di soluzione 0,2 di Na_2CO_3 è equivalente a 4 mval di acido su 100 g di terreno per 5 g di campione). Si agitano fortemente le due soluzioni e si determina il pH di quella più alcalina (contenente cioè 2 ml di Na_2CO_3 0,2 N); se il pH di tale soluzione è inferiore a 8 si aggiunge a ciascun beker altri 2 ml di soluzione 0,2 N di Na_2CO_3 e si ripete la misura del pH. L'aggiunta di Na_2CO_3 nella quantità sopraddetta va ripetuta fino a misurare un pH di circa 9.

Si lasciano allora riposare le due soluzioni, avendo cura di agitare ogni tanto fino a che si sia realizzato l'equilibrio della soluzione con il terreno e non si verificano ulteriori variazioni di pH. L'equilibrio viene praticamente raggiunto dopo circa 24 ore; dopo un tale intervallo di tempo si esegue di nuovo la misura del pH di entrambe le soluzioni.

I valori del pH così determinati risultano molto prossimi a 8 che, secondo Ewing, è il valore in cui si stabilisce il punto di equivalenza stechiometrica.

Risultando i valori del pH molto prossimi a 8 si può, per interpolazione ed estrapolazione, ricavare l'ammontare della soluzione 0,2 N di Na_2CO_3 necessaria a portare il pH del terreno al valore 8. La curva di titolazione è, nel tratto di interpolazione ed estrapolazione, una retta. Con tale metodo l'acidità del terreno viene espressa in mval/100 g di terreno per 5 g di campione.

2.1.08. - Rivelazione e determinazione dell'idrogeno solforato e dei solfuri

a) **Generalità** - La determinazione dell'idrogeno solforato viene eseguita trattando il terreno con acido cloridrico. Il gas sviluppato viene quindi fatto gorgogliare in una soluzione ammoniacale di solfato di cadmio. In presenza d'idrogeno solforato si forma un precipitato giallo di solfuro di cadmio. Per impedire una ossidazione dell'idrogeno solforato da par-

te di costituenti ossidanti presenti nel terreno, particolarmente sali di ferro trivalente, viene aggiunto zinco metallico.

Con questo trattamento del campione non vengono attaccati i solfuri insolubili in acido cloridrico quali la pirite, la marcassite, la calcopirite.

Se nel terreno è presente zolfo libero finemente suddiviso esso viene trasformato solo in parte in idrogeno solforato dall'idrogeno nascente.

b) Metodo di campagna - Con questo metodo la determinazione deve essere effettuata direttamente sul posto ed il più presto possibile dopo il prelievo del campione dal terreno, la cui quantità può essere misurata in volume e non in peso, se non è disponibile una bilancia portatile.

Con l'attrezzo rappresentato in fig. II-1 vengono prelevati 25 ml, oppure 25 g di terreno tal quale, che vengono poi introdotti in un pallone da 150 ml e disgregati (il campione non deve essere lasciato all'aria per molto tempo). Quindi vengono aggiunti circa 5 g di zinco in grani e 25 ml di acido cloridrico concentrato (~ 37%). Il pallone viene chiuso mediante un tappo di gomma con un tubo di derivazione. I gas che si sviluppano vengono fatti gorgogliare in un tubicino graduato contenente 5 ml di soluzione ammoniacale di solfato di cadmio (vedasi fig. II-14). La soluzione di solfato di cadmio è costituita da 40 g di $\text{CdSO}_4 \cdot 2,66 \text{H}_2\text{O}$ più 600 g di ammoniaca concentrata; il tutto è portato a 2 litri con H_2O distillata. Quando lo sviluppo di gas diviene debole la reazione è praticamente terminata. La presenza dei solfuri è rivelata da un intorbidimento della soluzione oppure da un deposito giallo di solfuro di cadmio.

La colorazione della soluzione e la quantità di precipitato possono essere messe approssimativamente in rapporto col tenore di solfuri (piccole impurità non vengono prese in considerazione) tenendo presente quanto segue:

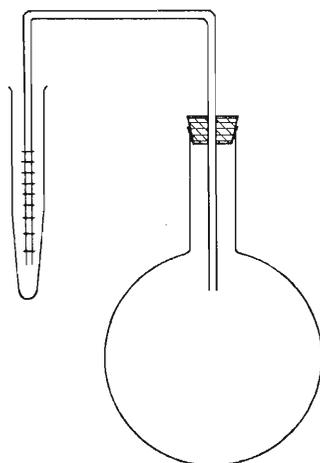


FIG. II-14 - Recipiente per la determinazione dei solfuri direttamente «in loco».

- assenza di colorazione: tenore di solfuri non rilevabile;
- intorbidimento: tenore di solfuri rilevabile;
- deposito: tenore di solfuri chiaramente rilevabile.

Per es., 1 ml di precipitato nel tubicino graduato, dopo un periodo di riposo di circa un'ora, corrisponde a $10 \div 12$ mg di zolfo.

c) **Metodo di laboratorio** - Per la determinazione dell'idrogeno solforato viene utilizzata l'apparecchiatura illustrata in fig. II-15. Si pesano 30 g di terreno che vengono poi posti in un pallone con circa 5 g di zinco. Quindi si monta l'apparecchiatura ed il tubicino graduato viene riempito con una soluzione di acetato di cadmio². Nel pallone vengono aggiunti a poco a poco

² Soluzione di acetato di cadmio:

5 g di acetato di cadmio	$(\text{CH}_3\text{COO})_2 \text{Cd} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
20 g di acetato di zinco	$(\text{CH}_3\text{COO})_2 \text{Zn}$
200 g di acetato di sodio	$\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
750 ml di acqua	

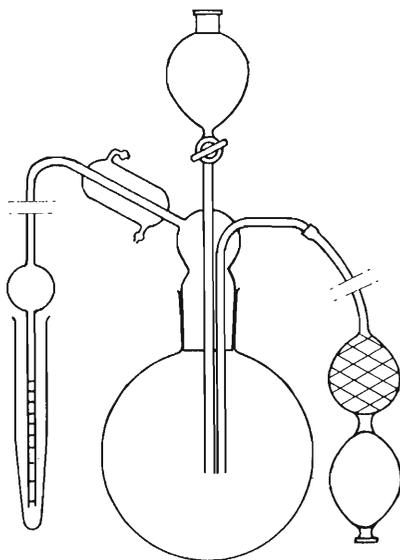


FIG. II-15 - Apparecchio per la determinazione dei solfuri in laboratorio.

circa 80 ml di acido cloridrico 1:1; cessato il primo svolgimento di gas, si riscalda sino ad inizio della ebollizione.

Il refrigerante condensa l'acido cloridrico che distilla, e lo riporta nel pallone. Per l'asportazione completa dell'idrogeno solforato che si è sviluppato, con una peretta di gomma viene insufflata aria nella apparecchiatura.

Il riscaldamento viene protratto per circa 15 minuti, quindi si lascia raffreddare sottoponendo l'apparecchiatura ad una debole corrente di aria. La presenza di idrogeno solforato viene rilevata dalla precipitazione di solfuro di cadmio giallo. Per la valutazione ci si riferisce a quanto detto sopra in *b*).

Se si vuole determinare quantitativamente il tenore di idrogeno solforato o di solfuri, deve essere dosato lo zolfo nel precipitato, ad es. mediante dissoluzione del solfuro di

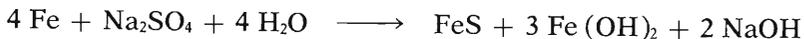
cadmio in acido cloridrico in presenza di soluzioni di iodio e titolazione dell'eccesso di iodio con tiosolfato di sodio. Il tenore di solfuro viene espresso in mg di zolfo per kg di terreno secco.

2.1.09. - Numero di batteri solfato-riduttori «desulfovibrio desulfuricans» nel terreno e sua determinazione

a) **Generalità** - I batteri solfato-riduttori vivono in condizioni anaerobiche, ma richiedono la presenza di solfati e sufficiente umidità per trarre nutrimento ai fini del loro accrescimento; ove prevalgono tali condizioni essi possono utilizzare l'idrogeno del processo di corrosione prevenendo il suo accumulo, cosicché la corrosione può non essere arrestata dal processo di polarizzazione. L'utilizzazione dell'idrogeno ad opera dei batteri avviene attraverso una reazione del tipo:



Nel caso di strutture in materiale ferroso immerse nel terreno sulle quali sia in atto un processo iniziale di corrosione con formazione di idrogeno sulle aree catodiche e di Fe^{++} sulle aree anodiche, i batteri possono attivare biologicamente l'idrogeno che, a sua volta, agisce sul solfato provocandone la riduzione. Gli ioni S^{--} formati reagiscono con gli ioni Fe^{++} accumulati sulle aree anodiche, dando luogo a solfuro ferroso secondo la reazione globale:



I batteri solfato-riduttori agiscono a valori di pH compresi fra 5,5 e 9. Ciò spiega perché questo attacco microbiologico sia normalmente prevenuto dalla protezione catodica, la quale provoca un aumento del valore del pH in prossimità del catodo.

Nel caso di strutture in Pb il meccanismo di attacco descritto è analogo a quello citato per i materiali ferrosi.

Il metodo di determinazione del numero di batteri solfato-riduttori permette una valutazione delle loro condizioni di accrescimento nel terreno in esame. Se la determinazione è fatta correttamente, essa fornisce un contributo alla valutazione dell'aggressività nel terreno.

Non si ottiene peraltro un valore assoluto, poiché all'atto della installazione di una struttura di ghisa o di acciaio le condizioni del suolo possono venire fundamentalmente modificate.

b) Metodo di determinazione - Il metodo di determinazione è basato sull'incremento dell'attività batterica in un campione di terreno in soluzione fisiologica³ in presenza di limatura di ferro.

La corretta esecuzione del metodo richiede la esclusione di batteri dai recipienti di analisi. Si opera nel modo seguente:

a) chiudere i recipienti contenenti la soluzione nutritiva con tamponi di ovatta e sterilizzare per 15 minuti in autoclave a 120 °C oppure per 30 minuti al giorno, per due giorni consecutivi, in recipienti a vapore a 100 °C;

b) essicare i recipienti di vetro per tre quarti d'ora a 180 °C;

c) pulire a fondo mortai, pestelli, spatole, agitatori o passarli alla fiamma prima dell'impiego;

d) bollire l'acqua necessaria per la diluizione dei cam-

³ Soluzione fisiologica:

Lattato di sodio	3,5 g
NH ₄ Cl	1 g
K ₂ HPO ₄	0,5 g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	2 g
Na ₂ SO ₄	0,5 g
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0,1 g
Acqua	1000 ml
pH	7

pioni e raffreddarla rapidamente. Usarla solo se preparata di fresco.

Il campione di terreno prelevato con la sonda di cui alle fig. II-1 e II-2 deve essere analizzato al più presto, avendo cura di tenerlo il meno possibile a contatto con l'aria. Si impastano rapidamente 10 g del campione con circa 20 ml di acqua bollita e la sospensione viene trasferita in un recipiente tarato di Erlenmeyer. Si elimina l'aria del recipiente immettendo anidride carbonica ed impiegando un agitatore magnetico. Si chiude il recipiente, continuando poi ad agitare il campione per altri 30 minuti. Successivamente si operano le diluizioni seguenti:

1) 10 ml di sospensione agitata con 90 ml di acqua bollita (1:100);

2) 10 ml di quanto ottenuto al punto 1) con 90 ml di acqua bollita (1:1000);

3) 10 ml di quanto ottenuto al punto 2) con 90 ml di acqua bollita (1:10000).

Queste operazioni debbono essere eseguite rapidamente evitando il più possibile il contatto con l'aria.

Eseguite così le diluizioni, 5 campioni da 10 ml, 5 da 1 ml e 5 da 0,1 ml di ogni diluizione vengono posti in flaconi sterili della capacità di 20 ml, muniti di chiusura ermetica. I flaconi debbono contenere circa 50 mg di limatura di ferro prima ancora della sterilizzazione; i flaconi contenenti 10 ml debbono essere completamente riempiti di soluzione fisiologica, negli altri si verseranno 10 ml di tale soluzione, quindi si riempiranno con acqua bollita.

I flaconi, dopo essere stati tappati in maniera che non vi rimanga traccia di aria, vengono mantenuti per 19÷21 giorni a 25 °C. La presenza dei batteri solfato-riducenti si manifesta con l'annerimento del terreno depositato sul fondo e con lo sviluppo di H₂S.

c) **Determinazione del numero più probabile di batteri (Metodo MPN : Most Probable Numbers)** - Si contano le prove positive di ogni serie nelle quali è avvenuta la reazione (10, 1, 0,1 ml) e dal loro numero si calcola il numero più probabile di batteri utilizzando l'annessa tabella 1. Tale tabella dà il numero di batteri per 100 ml di soluzione della diluizione impiegata, numero che eventualmente potrà essere riportato ad un kg di terreno. Il valore più esatto si ottiene in corrispondenza della diluizione per la quale si hanno 5 prove positive con 10 ml ed un numero minore con 1 e 0,1 ml. Nel caso in cui tutti i flaconi, anche con le quantità più piccole delle massime diluizioni, diano reazione positiva, il numero dei batteri solfato-riduttori nel terreno è superiore a 240.000 per grammo.

2.1.10. - Preparazione dell'estratto acquoso del terreno per la determinazione dei cloruri

a) **Procedimento** - Per preparare l'estratto acquoso del terreno si agita con acqua un campione di terreno in modo da far passare in soluzione la sua parte solubile. Poiché la solubilità dipende dalla quantità di acqua impiegata, dalla durata e dalle modalità dell'agitazione, dalla temperatura e dal pH dell'acqua impiegata, è necessario usare lo stesso metodo per ottenere risultati confrontabili.

Il metodo che si propone è qui di seguito descritto.

Si introduce in un pallone di vetro, munito di tappo di gomma, della capacità almeno di 1250 ml, una quantità di terreno corrispondente a 250 g di terreno secco, aggiungendo successivamente una quantità di acqua distillata, deionizzata ($\text{pH} = 6 \div 6,5$) e poi bollita in modo tale da portare il volume totale dell'acqua a 1000 ml. Il pallone viene posto in un agitatore e tenuto in movimento per un tempo sufficiente a portare in soluzione i prodotti da analizzare. Ad esempio, con un agitatore del tipo riportato in fig. II-16 sono necessarie 24

TABELLA 1

Tabella del numero più probabile (MPN) di batteri solfato-riduttori per 100 ml di soluzione utilizzando volumi di 10, 1 e 0,1 ml per ogni diluizione.

Pos. *		M.P.N.													
10	0,1	10	0,1	10	0,1	10	0,1	10	0,1	10	0,1	10	0,1	10	0,1
0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	4	0	5	0
0	0	1,8	1	4	0	0	0	3	0	0	0	4	0	5	0
0	0	3,6	1	6	0	2	0	6	0	1	11	4	0	5	0
0	0	5,4	1	8	0	3	0	9,1	0	2	13	4	0	5	0
0	0	7,2	1	10	0	4	0	12	0	3	16	4	0	5	0
0	0	9	1	12	0	5	0	14	0	4	20	4	0	5	0
0	1	1,8	1	4	2	0	0	16	0	5	23	4	0	5	0
0	1	3,6	1	6,1	2	1	0	18	0	11	23	4	1	1	0
0	1	5,4	1	8,1	2	1	1	9,2	0	14	21	4	1	1	0
0	1	7,2	1	10,1	2	1	2	12	0	17	26	4	1	1	0
0	1	9,1	1	12	2	1	3	14	0	20	31	4	1	2	0
0	1	11	1	14	2	1	4	17	0	23	36	4	1	2	0
0	2	3,7	1	5	2	0	5	19	0	27	42	4	1	3	0
0	2	5,5	1	7,4	2	1	8,2	9,3	0	31	49	4	1	5	0
0	2	7,4	1	10	2	2	1	12	0	34	56	4	2	0	0
0	2	9,2	1	12	2	3	2	14	0	38	64	4	2	1	0
0	2	11	1	15	2	4	3	17	0	44	70	4	2	2	0
0	2	13	1	17	2	5	4	19	0	47	76	4	2	2	0
0	3	5,6	1	8,3	2	3	0	22	0	50	84	4	2	3	0
0	3	7,4	1	10	2	3	1	25	0	54	91	4	2	3	0
0	3	9,3	1	13	2	3	2	28	0	58	99	4	2	3	0
0	3	11	1	15	2	3	3	31	0	62	107	4	2	3	0
0	3	13	1	17	2	3	4	33	0	66	116	4	2	3	0
0	3	15	1	19	2	3	5	35	0	70	125	4	2	3	0
0	4	7,5	1	11	2	4	0	38	0	74	134	4	2	3	0
0	4	9,4	1	13	2	4	1	42	0	78	143	4	2	3	0
0	4	11	1	15	2	4	2	46	0	82	152	4	2	3	0
0	4	13	1	17	2	4	3	50	0	86	161	4	2	3	0
0	4	15	1	19	2	4	4	54	0	90	170	4	2	3	0
0	5	9,4	1	11	2	5	0	58	0	94	179	4	2	3	0
0	5	13	1	14	2	5	1	62	0	98	188	4	2	3	0
0	5	15	1	17	2	5	2	66	0	102	197	4	2	3	0
0	5	17	1	19	2	5	3	70	0	106	206	4	2	3	0
0	5	19,4	1	13	2	5	0	74	0	110	215	4	2	3	0
0	5	23	1	15	2	5	1	78	0	114	224	4	2	3	0
0	5	25	1	17	2	5	2	82	0	118	233	4	2	3	0
0	5	27	1	19	2	5	3	86	0	122	242	4	2	3	0
0	5	29	1	21	2	5	4	90	0	126	251	4	2	3	0
0	5	31	1	23	2	5	5	94	0	130	260	4	2	3	0
0	5	33	1	25	2	5	6	98	0	134	269	4	2	3	0
0	5	35	1	27	2	5	7	102	0	138	278	4	2	3	0
0	5	37	1	29	2	5	8	106	0	142	287	4	2	3	0
0	5	39	1	31	2	5	9	110	0	146	296	4	2	3	0
0	5	41	1	33	2	5	10	114	0	150	305	4	2	3	0
0	5	43	1	35	2	5	11	118	0	154	314	4	2	3	0
0	5	45	1	37	2	5	12	122	0	158	323	4	2	3	0
0	5	47	1	39	2	5	13	126	0	162	332	4	2	3	0
0	5	49	1	41	2	5	14	130	0	166	341	4	2	3	0
0	5	51	1	43	2	5	15	134	0	170	350	4	2	3	0
0	5	53	1	45	2	5	16	138	0	174	359	4	2	3	0
0	5	55	1	47	2	5	17	142	0	178	368	4	2	3	0
0	5	57	1	49	2	5	18	146	0	182	377	4	2	3	0
0	5	59	1	51	2	5	19	150	0	186	386	4	2	3	0
0	5	61	1	53	2	5	20	154	0	190	395	4	2	3	0
0	5	63	1	55	2	5	21	158	0	194	404	4	2	3	0
0	5	65	1	57	2	5	22	162	0	198	413	4	2	3	0
0	5	67	1	59	2	5	23	166	0	202	422	4	2	3	0
0	5	69	1	61	2	5	24	170	0	206	431	4	2	3	0
0	5	71	1	63	2	5	25	174	0	210	440	4	2	3	0
0	5	73	1	65	2	5	26	178	0	214	449	4	2	3	0
0	5	75	1	67	2	5	27	182	0	218	458	4	2	3	0
0	5	77	1	69	2	5	28	186	0	222	467	4	2	3	0
0	5	79	1	71	2	5	29	190	0	226	476	4	2	3	0
0	5	81	1	73	2	5	30	194	0	230	485	4	2	3	0
0	5	83	1	75	2	5	31	198	0	234	494	4	2	3	0
0	5	85	1	77	2	5	32	202	0	238	503	4	2	3	0
0	5	87	1	79	2	5	33	206	0	242	512	4	2	3	0
0	5	89	1	81	2	5	34	210	0	246	521	4	2	3	0
0	5	91	1	83	2	5	35	214	0	250	530	4	2	3	0
0	5	93	1	85	2	5	36	218	0	254	539	4	2	3	0
0	5	95	1	87	2	5	37	222	0	258	548	4	2	3	0
0	5	97	1	89	2	5	38	226	0	262	557	4	2	3	0
0	5	99	1	91	2	5	39	230	0	266	566	4	2	3	0
0	5	101	1	93	2	5	40	234	0	270	575	4	2	3	0
0	5	103	1	95	2	5	41	238	0	274	584	4	2	3	0
0	5	105	1	97	2	5	42	242	0	278	593	4	2	3	0
0	5	107	1	99	2	5	43	246	0	282	602	4	2	3	0
0	5	109	1	101	2	5	44	250	0	286	611	4	2	3	0
0	5	111	1	103	2	5	45	254	0	290	620	4	2	3	0
0	5	113	1	105	2	5	46	258	0	294	629	4	2	3	0
0	5	115	1	107	2	5	47	262	0	298	638	4	2	3	0
0	5	117	1	109	2	5	48	266	0	302	647	4	2	3	0
0	5	119	1	111	2	5	49	270	0	306	656	4	2	3	0
0	5	121	1	113	2	5	50	274	0	310	665	4	2	3	0
0	5	123	1	115	2	5	51	278	0	314	674	4	2	3	0
0	5	125	1	117	2	5	52	282	0	318	683	4	2	3	0
0	5	127	1	119	2	5	53	286	0	322	692	4	2	3	0
0	5	129	1	121	2	5	54	290	0	326	701	4	2	3	0
0	5	131	1	123	2	5	55	294	0	330	710	4	2	3	0
0	5	133	1	125	2	5	56	298	0	334	719	4	2	3	0
0	5	135	1	127	2	5	57	302	0	338	728	4	2	3	0
0	5	137	1	129	2	5	58	306	0	342	737	4	2	3	0
0	5	139	1	131	2	5	59	310	0	346	746	4	2	3	0
0	5	141	1	133	2	5	60	314	0	350	755	4	2	3	0
0	5	143	1	135	2	5	61	318	0	354	764	4	2	3	0
0	5	145	1	137	2	5	62	322	0	358	773	4	2	3	0
0	5	147	1	139	2	5	63	326	0	362	782	4	2	3	0
0	5	149	1	141	2	5	64	330	0	366	791	4	2	3	0
0	5	151	1	143	2	5	65	334	0	370	800	4	2	3	0
0	5	153	1	145	2	5	66	338	0	374	809	4	2	3	0
0	5	155	1	147	2	5	67	342	0	378	818	4	2	3	0
0	5	157	1	149	2	5	68	346	0	382	827	4	2	3	0
0	5	159	1	151	2	5	69	350	0	386	836	4	2	3	0
0	5	161	1	153	2	5	70	354	0	390	845	4	2	3	0
0	5	163	1	155	2	5	71	358	0	394	854	4	2	3	0
0	5	165	1	157	2	5	72	362	0	398	863	4	2	3	0
0	5	167	1	159	2	5	73	366	0	402	872	4	2	3	0
0	5	169	1	161	2	5	74	370	0	406	881	4	2	3	0
0	5	171	1	163	2	5	75	374							

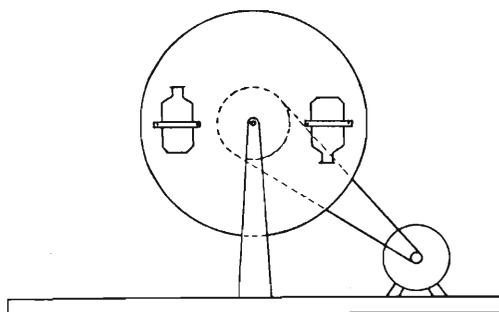


FIG. II-16 - Agitatore.

ore ad una velocità di 20-25 giri al minuto; l'apparecchiatura deve essere bilanciata.

Al termine dell'agitazione a temperatura ambiente, si toglie il pallone dall'apparecchiatura e si lascia riposare capovolto per alcuni minuti, in modo che le particelle più grosse si raccolgano contro il tappo. Per la filtrazione si adopera un imbuto, $\varnothing = 300$ mm, con un filtro di carta ruvida, $\varnothing = 50$ cm. Si toglie con precauzione il tappo dal flacone, tenendo il collo di questo il più basso possibile, in modo che le parti più grossolane della poltiglia si depositino sul filtro, formando un letto filtrante naturale. Se la prima parte filtrata è torbida la si versa di nuovo sul filtro, fino ad ottenere un filtrato limpido. Per migliorare la filtrabilità di terreni ad elevato contenuto di colloidali si può ricorrere alla centrifugazione. Sono indicate centrifughe con provette da $150 \div 250$ ml e con velocità da 3.000 a 6.000 giri al minuto.

b) Calcoli

Siano:

—*P*, in grammi, la pesata iniziale di terreno umido

—*S*, il contenuto percentuale di sostanza secca.

Nel caso considerato di 250 g di terreno secco, si ha:

$$S = \frac{250}{P} \cdot 100$$

da cui

$$P = \frac{25.000}{S} \quad (\text{in grammi})$$

La pesata P consisterà di 250 g di terreno secco e di $(P - 250)$ g o ml di acqua, cioè contiene $(P - 250)$ g o ml di acqua. Poiché il volume totale dell'acqua deve essere 1000 ml, la quantità di acqua che si deve ancora aggiungere è:

$$A = 1000 - (P - 250) = 1250 - P \quad (\text{in ml})$$

Ad esempio, con un valore dell'umidità del terreno del 20%, si ha:

$$S = 80\%; \quad 80 = \frac{250}{P} \cdot 100$$

$$P = \frac{25.000}{80} = 320 \text{ g (pesata di terreno umido)}$$

$320 - 250 = 70$ g o ml (contenuto in acqua del campione di terreno)

$A = 1000 - 70 = 930$ g o ml (acqua aggiunta).

2.1.11. - Determinazione del contenuto in cloruri

La determinazione del contenuto in ioni cloro può essere ottenuta su una parte aliquota dell'estratto acquoso, per mezzo della titolazione con soluzione di nitrato di argento in ambiente neutro secondo Mohr. Come indicatore si impiega il cromato di potassio. Il punto finale della reazione è indi-

cato dalla comparsa del colore rosso-bruno dovuto al cromato d'argento. Interferisce fortemente la presenza di acidi, basi, sali di ferro, solfati, idrogeno solforato, solfuri e quantitativi notevoli di sostanze organiche. Infatti il cromato d'argento è solubile negli acidi, mentre gli alcali favoriscono la formazione di ossido d'argento.

L'idrogeno solforato ed i solfuri fanno precipitare solfuro di argento nero. I solfiti consumano nitrato d'argento formando solfito d'argento. I sali di ferro, e quantitativi considerevoli di particelle organiche, disturbano per la loro propria colorazione. La soluzione alcalina deve essere fortemente acidificata con acido nitrico concentrato, e l'eccesso di acido viene neutralizzato con l'aggiunta di ossido di zinco esente da cloruri, provocando la precipitazione del ferro sotto forma di idrossido.

L'interferenza di solfiti, dell'idrogeno solforato e delle sostanze organiche viene eliminata con l'ebollizione, dopo aver aggiunto alla soluzione permanganato di potassio fino al raggiungimento di una colorazione rosa. L'eccesso di permanganato di potassio si elimina con acqua ossigenata e, se necessario, si filtra il biossido di manganese eventualmente formatosi. I fosfati non danno interferenza.

Per la determinazione del contenuto in ioni cloro si consiglia il seguente procedimento. Si prelevano 50 ml di estratto acquoso su cui, se necessario, si procede alla eliminazione delle interferenze come sopra indicato. Se la soluzione è priva di impurità interferenti si procede senz'altro alla titolazione. Si pone la soluzione in un bicchiere con 1 ml di cromato di potassio al 10% e si titola con una soluzione 0,01 N di nitrato di argento, fino alla comparsa di una colorazione da giallo a giallo-bruno.

Siano:

—*P* (ml) la quantità di estratto acquoso impiegato

—*A* (ml) la quantità di AgNO_3 0,01 N impiegato.

Se l'estratto acquoso è stato preparato partendo da 250 g

di terreno secco, il contenuto in ioni cloro per un kg di terreno risulta:

$$\text{Cl}^- = \frac{A \cdot 1418,28}{P} \text{ mg/kg}$$

Impiegando 50 ml di estratto acquoso, si ha:

$$\text{Cl}^- = A \cdot 28,37 \text{ mg/kg}$$

2.1.12. - **Determinazione del contenuto in solfati nell'estratto cloridrico del terreno**

Il terreno viene trattato con acido cloridrico al 20%, in modo da disciogliere anche il solfato di calcio. Dopo filtrazione, il filtrato viene evaporato fino ad essiccazione, riscaldato a 135 °C per eliminare l'acido silicico, quindi trattato con ammoniaca per eliminare il ferro e l'alluminio, determinando infine il solfato in soluzione cloridrica con cloruro di bario.

Si consiglia il seguente procedimento. In una capsula di porcellana a fondo piatto vengono posti 10 g di terreno che poi vengono trattati con 50 ml di acido cloridrico al 20%, tenendo coperto con un vetro da orologio per evitare perdite per proiezioni. Al termine dell'eventuale sviluppo di anidride carbonica, si evapora fino ad essiccazione e si riscalda per 1 ora a 135 °C. Dopo raffreddamento il residuo viene ripreso con acido cloridrico concentrato, quindi diluito con acqua distillata, ed infine filtrato dopo riscaldamento. Il residuo sul filtro (acido silicico) viene lavato dapprima con acido cloridrico caldo diluito 1:3 ed infine con acqua calda.

Il filtrato viene riscaldato fino all'ebollizione, trattato con acqua ossigenata (qualche ml per ossidare il ferro) ed infine con ammoniaca per precipitare il ferro e l'alluminio. Si filtra a caldo lavando il precipitato con acqua. Il filtrato contenente i solfati viene lievemente acidificato con acido cloridrico e

trattato a caldo con 20 ml di soluzione di cloruro di bario al 10%. Il solfato di bario precipitato, dopo un riposo di qualche ora, viene filtrato lavando con acqua calda.

Il filtro si pone quindi in un crogiuolo precedentemente pesato e si riscalda fino ad incenerimento del filtro o al raggiungimento di un peso costante.

Siano:

- P , in grammi, la pesata del terreno
- A , in grammi, la pesata di solfato di bario
- S , il contenuto percentuale in sostanza secca del campione di terreno.

Il contenuto in solfato per kg di terreno secco risulta:

$$\text{SO}_4^{--} = \frac{A \cdot 411,5 \cdot 1000 \cdot 100}{P \cdot S} \text{ mg/kg}$$

Se si sono usati 10 g di terreno si ha:

$$\text{SO}_4^{--} = \frac{A \cdot 4.115.000}{S} \text{ mg/kg}$$

SEZIONE II - AGGRESSIVITÀ ASSOLUTA (NEL PUNTO)

2.2.01. - **Aggressività dell'ambiente**

È l'attitudine dell'ambiente, limitatamente alla zona e al campione di terreno sui quali vengono effettuate le misure, a generare o favorire fenomeni di corrosione su strutture metalliche.

La valutazione dell'aggressività di un terreno presuppone la conoscenza di numerosi parametri chimici e fisici che richiedono una interpretazione ed una valutazione globale. Il contributo all'aggressività apportato da ciascun parametro è diverso e viene valutato attribuendo a ciascuno di questi un

differente peso. Anche la sola determinazione dei parametri aventi maggior peso nella valutazione dell'aggressività del dato terreno può fornire una indicazione sufficientemente attendibile.

Qui di seguito si dà un criterio di valutazione, analogo a quello proposto da Steinrath [11], basato sulla determinazione di un indice di aggressività (A) ottenuto come somma di indici parziali⁴ (A_i), relativi alle singole determinazioni consigliate:

$$A = \sum_1^n A_i$$

In sede di progettazione o di indagine, al fine di ottenere una valutazione immediata dell'aggressività di un terreno, si consiglia di effettuare le determinazioni seguenti:

- 1) resistività (vedasi alinea 2.1.02.);
- 2) potenziale di ossido-riduzione (vedasi alinea 2.1.04.);
- 3) idrogeno solforato e solfuri (vedasi alinea 2.1.08.).

I relativi indici parziali A_i risultano dalle sottoindicate tabelle:

TABELLA 1
 A_p — Indice di resistività

resistività $\Omega \cdot \text{cm}$	A_p (indice parziale)
> 12.000	0
12.000 ÷ 5.000	-1
5.000 ÷ 2.000	-2
< 2.000	-4

⁴ Gli indici riportati nelle tabelle seguenti sono convenzionali e sono stati stabiliti tenendo conto di quelli proposti da Steinrath e della esperienza dei compilatori delle presenti «Raccomandazioni».

Ovviamente, trattandosi di valori empirici sui quali tuttora non esiste un completo accordo da parte degli sperimentatori, tali indici possono essere valutati in maniera diversa.

TABELLA 2

 A_{redox} — Potenziale di ossido-riduzione

E_{redox} mV	A_{redox} (indice parziale)
> 400	+2
400 ÷ 200	0
200 ÷ 0	-2
< 0	-4

TABELLA 3

 A_s — Idrogeno solforato e solfuri

mg/kg S ²⁻	A_s (indice parziale)
non rilevabile	0
< 0,5	-2
> 0,5	-4

Eseguite le somme degli A_i , la valutazione dell'aggressività A può essere ottenuta come segue:

TABELLA 4

 A — Indice di aggressività

Indice di aggressività	Classificazione dell'ambiente
≥ 0	non aggressivo
-1 ÷ -6	debolmente aggressivo
-6 ÷ -8	mediamente aggressivo
< -8	nettamente aggressivo

2.2.02. - Valutazione dell'aggressività dell'ambiente in sede di esercizio

Nel caso in cui occorra un esame più approfondito, o per stabilire una causa di corrosione in atto, si consiglia di ef-

fettuare anche le determinazioni seguenti:

- 1) pH (vedasi alinea 2.1.03);
- 2) contenuto in acqua (vedasi alinea 2.1.05);
- 3) acidità totale (vedasi alinea 2.1.07);
- 4) cloruri (vedasi alinea 2.1.10. e 2.1.11.);
- 5) solfati (vedasi alinea 2.1.12.).

I relativi indici parziali A_i risultano dalle sotto indicate tabelle:

TABELLA 5
 A_{pH} — **Indice di pH**

pH	A_{pH} (indice parziale)
> 5	0
< 5	-1

TABELLA 6
 A_{H_2O} — **Contenuto in acqua**

Acqua %	A_{H_2O} (indice parziale)
< 20	0
> 20	-1

TABELLA 7
 A_a — **Acidità totale**

Acidità mval/kg	A_a (indice parziale)
< 2,5	0
2,5 ÷ 5	-1
> 5	-2

TABELLA 8
 A_{Cl^-} — Cloruri

Cl^- mg/kg	A_{Cl^-} (indice parziale)
< 100	0
> 100	-1
> 1000	-4 ⁵

TABELLA 9
 $A_{SO_4^{--}}$ — Solfati

SO_4^{--} mg/kg	A_{SO_4} (indice parziale)
< 200	0
200 ÷ 300	-1
> 300	-2

Eseguita la somma degli otto indici A_i , la valutazione dell'aggressività A può essere ottenuta dalla seguente tabella 10 che sostituisce la tabella 4:

TABELLA 10
 A — Indice di aggressività

Indice di aggressività	Classificazione dell'ambiente
> 0	non aggressivo
-1 ÷ -8	debolmente aggressivo
-8 ÷ -10	mediamente aggressivo
< -10	nettamente aggressivo

Resta inteso che il coefficiente di aggressività così definito non permette una valutazione completa della suscettibilità alla corrosione di una struttura metallica interrata in quel-

⁵ Questo dato si riferisce a metalli ferrosi.

l'ambiente, essendo questa legata a numerosi altri fattori (estensione longitudinale della struttura, tipo di rivestimento, stato elettrico, tipo del materiale, presenza di correnti esterne, caratteristiche fisiche del terreno, ecc.) la cui influenza può essere unicamente valutata di caso in caso.

SEZIONE III - AGGRESSIVITÀ DA PILA GEOLOGICA

2.3.01 - **Aggressività da pila geologica (definizione)**

È l'attitudine dell'ambiente a provocare fenomeni di corrosione di una struttura metallica a contatto con esso per la presenza di pile geologiche (vedasi Cap. I - «Definizioni»). Il fenomeno di corrosione si verifica nelle aree anodiche della struttura stessa.

La pila costituita da ambienti a diversa concentrazione di ossigeno a contatto di una medesima struttura metallica può ritenersi un caso particolare di pila geologica detta «pila ad aerazione differenziale» (vedasi Cap. I - «Definizioni»).

2.3.02. - **Valutazione dell'aggressività da pila geologica in sede di progetto**

L'aggressività da pila geologica viene valutata attraverso l'esame della natura degli ambienti interessati, ponendo particolare attenzione alle brusche variazioni delle caratteristiche degli stessi (ad es. eseguendo misure di resistività lungo il tracciato della condotta).

Tale valutazione si rende necessaria quando nel progetto della struttura non è prevista la protezione catodica. Essa è comunque consigliabile anche se il progetto prevede l'installazione di un impianto di protezione catodica, permettendo di ottenere utili indicazioni per una migliore protezione della struttura (ad es. variazioni del tracciato o isolamenti particolari).

2.3.03. - Individuazione e valutazione dell'aggressività da pila geologica in sede di esercizio

Nel caso in cui occorra verificare la presenza di una pila geologica, si determina innanzitutto lo stato elettrico della struttura per individuarne la zona anodica e quella catodica secondo il metodo raccomandato al Cap. V (alinea 5.2.01.).

Nel caso che lo stato elettrico risultasse variabile nel tempo, occorrerà scindere la componente variabile da quella permanente, ritenendosi a tal fine valido il principio di sovrapposizione degli effetti.

Con riferimento a quanto già osservato in 2.2.02. nei riguardi dell'aggressività assoluta, la conoscenza di un solo fattore (tipo di rivestimento, stato elettrico, ecc.) non permette la valutazione completa del fenomeno; in questo caso la sola conoscenza dello stato elettrico, mentre assicura che la corrosione è possibile, non permette di stabilire con sicurezza se la causa sia da attribuire a pila geologica. È opportuno allora procedere, oltre alla determinazione delle zone anodiche e catodiche, anche al rilievo dell'andamento della resistività dei terreni attraversati come specificato all'alinea E.3.1. dell'appendice E.

L'indagine effettuata con il metodo del doppio rilievo, descritto in Appendice E, consente inoltre di individuare l'eventuale presenza di altre cause come la pila galvanica di tipo *a* (vedasi Cap. I - «Definizioni») e l'azione di correnti esterne (interferenza).

L'attività della pila geologica, in relazione ai fenomeni di corrosione in atto, è determinabile soltanto misurando direttamente la corrente che circola nella struttura. Se trattasi, ad esempio, di una condotta, la corrente potrà essere misurata con metodi indiretti (vedasi Cap. V - Sez. IV). In casi particolari si potrà inserire un giunto isolante nella zona di separazione fra l'area anodica e quella catodica e misurare la corrente utilizzando uno shunt di opportune caratteristiche derivato ai capi del giunto stesso.

CAPITOLO III

PROVVEDIMENTI CONTRO LA CORROSIONE

SEZIONE I - GENERALITÀ

3.1.01. - **Tipi di provvedimenti**

I provvedimenti tendenti a ridurre o ad eliminare la corrosione delle strutture metalliche immerse in un ambiente a comportamento elettrolitico si possono applicare:

- a) agli impianti che danno origine a correnti disperse;
- b) alle strutture da proteggere;
- c) all'ambiente.

SEZIONE II - PROVVEDIMENTI PER GLI IMPIANTI CHE DANNO ORIGINE ALLE CORRENTI DISPERSE

3.2.01. - **Riduzione dell'intensità delle correnti disperse**

Si può ottenere:

- a) riducendo al minimo possibile il valore della resistenza longitudinale dei tratti del circuito che si trovano in con-

dizione di scambiare corrente con l'ambiente (per es. le rotaie degli impianti di trazione elettrica);

b) aumentando al massimo la resistenza verso terra (isolamento) delle parti degli impianti che non debbono essere messe francamente a terra per esigenze funzionali o di sicurezza;

c) evitando, ove tecnicamente possibile, una apposita messa a terra del negativo degli impianti di trazione elettrica (barra negativa delle sottostazioni);

d) scegliendo opportunamente la posizione delle stazioni di alimentazione degli impianti disperdenti (cioè quelli di trazione, di protezione catodica, ecc.);

e) frazionando fra più stazioni la potenza necessaria per l'alimentazione degli impianti sopracitati.

SEZIONE III - PROVVEDIMENTI DI PROTEZIONE APPLICABILI ALLE STRUTTURE DA PROTEGGERE

3.3.01. - **Riduzione dello scambio di corrente con l'ambiente**

Ai fini della protezione dall'aggressività dell'ambiente o dall'azione delle correnti disperse, la riduzione dello scambio di correnti con l'ambiente può ottenersi adottando i seguenti provvedimenti, detti comunemente di protezione passiva:

a) applicazioni di rivestimenti isolanti (vedasi Cap. IV);

b) installazione, in posizione opportuna, di giunti isolanti;

c) posa in tubo di protezione, in cunicolo o in canalizzazione.

I tubi di protezione debbono essere impermeabili, completamente ermetici ed elettricamente isolati dalla struttura e dall'ambiente.

I cunicoli debbono essere realizzati in modo da ridurre il più possibile le infiltrazioni di acqua, o comunque, da garantire che la struttura non venga a contatto con l'acqua. Le strutture debbono essere distanziate dalle pareti del cunicolo mediante supporti isolanti.

Le canalizzazioni in cemento per cavi debbono preferibilmente contenere tubi di materiale plastico nei quali infilare i cavi stessi¹. Si deve garantire l'ermeticità dei giunti e delle estremità delle tubazioni mediante adatte sostanze collanti o di otturazione.

Quando non siano realizzabili le condizioni sopraesposte, i provvedimenti di cui al punto c) sono inutili e talvolta dannosi.

3.3.02. - Protezione catodica

3.3.02.1. - Criteri atti ad ottenere la protezione

I criteri di protezione convenzionalmente accettati variano a seconda del materiale costituente la struttura.

Tali criteri sono elencati qui di seguito, avvertendo che qualunque misura di potenziale della struttura (vedasi Cap. I - «Definizioni») s'intende sempre riferita all'elettrodo Cu/CuSO₄ saturo, il quale dovrà essere disposto, per realizzare il miglior contatto con l'ambiente, secondo le modalità indicate nell'alinea 5.3.02.1. del Cap. V.

a) *Per l'acciaio o la ghisa* - La struttura si considera protetta quando il potenziale di tutti i punti della sua superficie è stato reso uguale o inferiore al valore di -850 mV, che viene quindi assunto come valore (convenzionale) del potenziale di sicurezza (Vedasi Cap. I - «Definizioni») dell'acciaio o della ghisa.

¹ L'impiego di canalizzazioni di questo tipo evita il pericolo di danneggiare, durante le operazioni di tiro, la guaina metallica nuda e le fasciature isolanti dei cavi.

In terreno anaerobico, in cui siano presenti batteri solfato-riduttori, è opportuno assumere un valore più basso di tale potenziale, pari a -950 mV [1].

b) Per il piombo - La struttura si considera protetta quando il potenziale di tutti i punti della sua superficie è stato reso uguale o inferiore al valore di -550 mV, che viene quindi assunto come valore (convenzionale) del potenziale di sicurezza del piombo.

Per guaine di cavi giacenti in canalizzazioni di cemento (senza tubi di plastica) o in ambienti alcalini con pH $8 \div 9$, il potenziale deve essere più negativo di -550 mV: i valori di tale potenziale sono indicati sul diagramma pH — potenziale, riportato nelle «Raccomandazioni» del C.C.I.T.T.² [1].

La protezione catodica favorisce la formazione di un ambiente alcalino sulla superficie del metallo che ne provocherebbe facilmente la corrosione se il piombo non fosse portato ad un adeguato potenziale negativo, il cui valore deve essere ricavato dal suddetto diagramma in relazione ai valori del pH che si rilevano dopo l'applicazione della protezione catodica. In terreno anaerobico, in cui siano presenti batteri solfato-riduttori, è opportuno assumere un potenziale di almeno -650 mV.

c) Per l'alluminio - Allo stato attuale delle conoscenze sulla protezione catodica dell'alluminio non è possibile definire valori precisi del potenziale negativo di protezione [1].

L'esperienza sembra però dimostrare che i valori del potenziale di protezione catodica devono essere compresi tra $-0,8$ e $-1,4$ V. Poiché la protezione catodica, come si è detto per il piombo, favorisce la formazione di un ambiente alcalino in prossimità della superficie del metallo e l'alluminio viene di conseguenza ad essere esposto a grave pericolo di corrosione, appare evidente come la protezione catodica

² Cap. I, pag. 6.

di questo metallo debba essere eseguita con la più grande prudenza [21] [22].

d) *Per il rame* - La struttura si considera protetta quando il potenziale di tutti i punti della sua superficie ha subito, dopo l'applicazione temporanea di una corrente catodica, una diminuzione minima di 100 mV per effetto della polarizzazione³ [21].

e) *Strutture costituite da metalli diversi* - La struttura si considera protetta quando il potenziale di tutti i punti della sua superficie è stato reso eguale o minore a quello richiesto per la protezione del metallo più anodico (vedasi «Serie Galvanica» Cap. I - «Definizioni»). Se l'ambiente risulta alcalino può essere conveniente separare quelle parti di struttura costituite da metalli anfoteri mediante giunti isolanti [21].

3.3.02.2. - *Mezzi atti a realizzare la protezione*

La protezione catodica si realizza, in pratica, con l'adozione di uno o più d'uno dei seguenti provvedimenti, detti comunemente di protezione attiva, che saranno descritti nella Sezione V di questo Capitolo:

- a) impianti di drenaggio;
- b) impianti con anodi galvanici;
- c) impianti con alimentatore catodico.

³ La diminuzione di potenziale per effetto di polarizzazione si rileva interrompendo la corrente di protezione e osservando il valore a cui si porta il potenziale dopo l'improvvisa variazione che si ha all'atto della interruzione della corrente: questo valore, riferito al valore rilevato prima della polarizzazione, ci fornisce la diminuzione di potenziale dovuta alla polarizzazione stessa.

3.3.03. - Altri provvedimenti

In sede di progetto e di costruzione delle strutture è opportuno:

a) per tubazioni e per cavi tener conto, nella scelta del tracciato, dell'aggressività e dello stato elettrico del terreno.

b) evitare quanto più possibile l'impiego di materiali metallici diversi nella costruzione di una stessa struttura e, in ogni caso, il collegamento metallico fra essi.

c) evitare la continuità metallica con altre strutture a cui non si voglia estendere la protezione⁴.

d) adottare distanze di rispetto fra strutture contigue.

SEZIONE IV - PROVVEDIMENTI APPLICABILI ALL'AMBIENTE

3.4.01. - Tipi di provvedimenti

I provvedimenti applicabili all'ambiente sono:

a) il riempimento dello scavo con materiale che non danneggi l'eventuale rivestimento isolante della struttura da interrare, meglio se adatto ad aumentare la resistenza di isolamento della struttura.

⁴ Si deve evitare l'utilizzazione delle strutture metalliche protette catodicamente come prese di terra per impianti elettrici, in quanto tale pratica può mettere fuori protezione le strutture stesse. Tale esigenza è sottolineata anche nell'art. 50 del Regolamento Tipo per la distribuzione dell'acqua potabile raccomandato alle Aziende Associate dalla Federazione Nazionale Aziende Municipalizzate Gas, Acqua e Varie (FNAMGAV). Se le strutture sono protette catodicamente, pur non essendo consigliabile, se ne può consentire l'uso come presa di terra di impianti elettrici a corrente alternata a frequenza non inferiore ai 50 Hz in quanto si ritiene che tale corrente non provochi corrosione, a meno che non intervengano fenomeni di raddrizzamento ed altre condizioni particolari. Tale uso deve invece essere escluso nel caso di impianti elettrici a corrente continua.

b) l'immissione, in ambienti particolarmente aggressivi, di opportuni inibitori.

Tali provvedimenti sono da adottarsi in casi speciali, in particolare non sono da prendersi in considerazione per la protezione esterna di condutture estese.

SEZIONE V - IMPIANTI DI PROTEZIONE ATTIVA

3.5.01. - Impianti di drenaggio

Con questo tipo di impianto si può ottenere, in determinate condizioni, una protezione parziale o totale di una struttura, purché questa sia sufficientemente isolata nell'ambiente. A seconda delle circostanze gli impianti possono essere realizzati nei modi seguenti:

a) impianto di drenaggio diretto, costituito da un collegamento metallico fra punti opportunamente scelti sulle due strutture che si interferiscono;

b) impianto di drenaggio unidirezionale o polarizzato, costituito da un collegamento metallico come al punto *a)*, in cui è inserito un dispositivo tale da consentire il passaggio di corrente in un solo senso (elementi semiconduttori, automatismi, ecc.);

c) impianto di drenaggio regolato, costituito da un impianto di drenaggio diretto o da un drenaggio unidirezionale, la cui corrente viene limitata da opportuni dispositivi;

d) impianto di drenaggio bidirezionale, costituito da due distinti drenaggi unidirezionali, diversamente regolati, caratterizzati da opposto senso della corrente, applicati fra due strutture protette. Viene utilizzato per compensare interferenze fra le strutture stesse, quando la differenza di potenziale fra queste cambia segno nel tempo.

3.5.02. - Impianti con anodi galvanici (vedasi Cap. I - «Definizioni»)

Si realizzano con uno o più anodi galvanici, generalmente leghe di Mg o Zn, in parallelo fra loro e collegati metallicamente alla struttura da proteggere. L'impianto può essere semplice o regolato. Per migliorare le prestazioni, gli anodi possono essere posati in un opportuno materiale di bassa resistività (backfill).

Quando la resistività dell'ambiente supera i $5 \Omega \cdot m$, l'uso degli anodi di zinco non risulta economicamente conveniente; con resistività maggiore di $30 \Omega \cdot m$, anche gli anodi di magnesio non sono più economici per la protezione di strutture estese in lunghezza.

In ogni caso, in presenza di correnti vaganti o in terreni non costantemente umidi gli impianti con anodi galvanici sono da evitare.

3.5.03. - Impianti con alimentatori catodici

Con questo tipo di impianto è possibile raggiungere in ogni caso la protezione catodica totale di una struttura, anche in presenza di correnti disperse.

A seconda delle esigenze, questi impianti possono essere realizzati nei seguenti modi:

a) impianto con alimentatore catodico semplice, costituito da un alimentatore il cui polo negativo è collegato alla struttura e il polo positivo è collegato ad un dispersore (vedasi Cap. I - «Definizioni») o ad una struttura usata come dispersore.

b) impianto con alimentatore catodico automatico a potenziale costante, costituito da un impianto di cui al punto a), nel quale è inserito un dispositivo che consente di mantenere costante, in un determinato punto, il potenziale della struttura al variare del campo elettrico esterno entro certi limiti prefissati.

3.5.04. - Combinazione di impianti di protezione delle strutture

Ai fini di un miglioramento della protezione è possibile combinare fra loro i tipi di impianto descritti ai punti 3.5.01. e 3.5.03., realizzando in tal modo impianti detti comunemente «Misti».

CAPITOLO IV

RIVESTIMENTI

SEZIONE I - PROTEZIONE PASSIVA DELLE STRUTTURE METALLICHE (TUBAZIONI, CAVI ECC.) MEDIANTE RIVESTIMENTI

4.1.01. - **Generalità**

L'accorgimento più intuitivo per realizzare la protezione di una struttura dai processi corrosivi è quello di provvedere ad isolarla dall'ambiente aggressivo circostante.

La realizzazione può essere ottenuta impedendo il contatto della superficie metallica con l'ambiente mediante l'interposizione di una barriera chimicamente e fisicamente resistente.

4.1.02. - **Tipi di strutture metalliche da proteggere**

Le strutture metalliche considerate nel presente capitolo sono quelle completamente o parzialmente a contatto con il terreno: quindi, in particolar modo, ci si occuperà sia di tubazioni, cisterne, ecc. in acciaio, sia di guaine, armature e schermature metalliche dei cavi elettrici e di telecomunicazione costruite in leghe metalliche diverse.

Si ritiene opportuno elencare qui di seguito alcune delle più comuni strutture suddivise secondo il metallo impiegato nella loro costruzione:

Acciaio

Tubazioni per acquedotti, gasdotti, oleodotti, tubi guaina, pezzi speciali, giunti, saracinesche, valvole, sifoni, ecc.

Nastrature di rinforzo contro pressioni interne ai cavi (blindatura), guaine di acciaio corrugate, armature costituite da nastri di ferro (acciaio dolce ricotto) normalmente non zincati, armature costituite da fili rotondi o piatti (piattine) di ferro o acciaio normalmente zincati.

Acciaio zincato

Tubazioni per acquedotti, pezzi speciali, raccorderie, ecc. Serbatoi.

Acciaio legato, acciaio inossidabile

Tubazioni per convogliare fluidi aggressivi.

Piombo

Guaine di leghe di piombo per cavi.

Rame

Nastrature per rinforzo contro pressioni interne ai cavi (blindatura).

Guaine corrugate.

Schermature elettriche costituite da nastri stagnati o no.

Schermature elettriche costituite da fili, eventualmente stagnati, disposti alla periferia del cavo.

Alluminio

Guaine di alluminio per cavi lisce o corrugate.

Armature costituite da nastri o fili di lega di alluminio.

Schermature elettriche costituite da nastri di alluminio.

Schermature elettriche costituite da fili o piattine disposti alla periferia del cavo.

Bronzo

Nastrature per rinforzo contro pressioni interne ai cavi (blindatura).

4.1.03. - Elementi essenziali che costituiscono il rivestimento e/o concorrono alla sua efficienza

a) Stato della superficie metallica - La superficie metallica deve risultare pulita al momento in cui viene applicato il rivestimento. Con la pulitura può essere necessario un trattamento della superficie in modo da renderla ruvida ed aumentare così l'aderenza del rivestimento. In particolari casi è utile la passivazione della superficie da rivestire.

b) Continuità del contatto fra rivestimento e superficie metallica - Al fine di limitare l'entità della corrosione in caso di rottura del rivestimento, è necessario ridurre il più possibile gli spazi vuoti fra rivestimento e metallo, in modo da rendere minima l'infiltrazione di umidità.

Tale condizione si può realizzare sia impiegando materiali ad alto coefficiente di ritiro, sia interponendo fra rivestimento e metallo un opportuno strato sigillante.

Qualora sia ragionevole ritenere che il rivestimento possa danneggiarsi (ad es. nel caso di tubi, i quali hanno notevole peso rispetto alla resistenza meccanica del rivestimento) risulta molto vantaggioso, onde prevenire il distacco del rivestimento, assicurare il suo incollaggio alla superficie metallica. Tale incollaggio è realizzabile sia utilizzando le naturali caratteristiche di adesione del materiale di rivestimento al metallo, sia interponendo uno strato che assicuri contemporaneamente l'adesione tanto al metallo quanto al rivestimento (primer).

Come già indicato al punto *a*) l'aumento dell'aderenza è ottenuto mediante l'irruvidimento della superficie (sabbatura, fosfatizzazione, ecc.).

c) **Strato protettivo** - L'efficacia di un rivestimento è prevalentemente ottenuta con lo strato protettivo il quale dovrà presentare la massima inerzia chimica possibile verso l'ambiente circostante. Il grado di inerzia chimica può essere ottenuto utilizzando le caratteristiche specifiche del materiale. Stabilito il tipo di materiale, la durata dello strato protettivo è in relazione al valore dello spessore.

d) **Armatura**¹ - Per salvaguardare lo strato protettivo da sollecitazioni meccaniche (urti, abrasioni, compressioni, ecc.) si provvede ad aumentarne la resistenza meccanica mediante l'applicazione di materiale di rinforzo. Esso può essere costituito o da un nastro avvolto o da uno strato o da una lamina, ovvero da combinazioni di questi elementi.

e) **Finitura** - Allo scopo di migliorare particolari prestazioni del rivestimento (per resistenza ai raggi solari, per eliminare l'appiccicosità, per la colorazione, per la levigatezza, per l'impermeabilizzazione, ecc.) si ricorre all'applicazione di uno strato avente caratteristiche adeguate. Nella prevalenza dei casi viene realizzato sotto forma di pellicola.

4.1.04. - **Categorie di rivestimenti**

I rivestimenti protettivi si possono suddividere in tre grandi categorie:

- rivestimenti a spessore o «rivestimenti» propriamente detti;
- rivestimenti sottili o «verniciature»;
- rivestimenti metallici o «metallizzazioni».

¹ Nel campo dei cavi con il termine «armatura» si indica un avvolgimento di uno o più strati di nastri, fili o piattine metalliche eseguito esternamente alla guaina del cavo medesimo. Tale «armatura» ha il compito di conferire ai cavi una adeguata resistenza meccanica e non è da confondersi con l'armatura dei rivestimenti.

Ciascuna delle sopracitate categorie viene realizzata impiegando appositi materiali, che saranno esposti suddividendoli in classi, come da successivo paragrafo 4.1.06..

Nel seguente paragrafo 4.1.05. viene esposta una elencazione a grandi linee dei principali tipi di rivestimento appartenenti a ciascuna delle categorie sopra elencate.

4.1.05. - Suddivisione delle categorie in tipi di rivestimenti

a) Rivestimenti a spessore

a.1.) Rivestimenti bitumosi - Questi rivestimenti risultano costituiti dai vari «elementi essenziali» elencati nella precedente alinea 4.1.03., in modo da ottenere prestazioni complessive adatte all'ambiente in cui vengono installate le strutture. Questi rivestimenti sono prevalentemente usati per la superficie esterna.

a.2.) Rivestimenti a base di catrame - Vale quanto detto per i rivestimenti bituminosi.

a.3.) Rivestimenti in resina - Sono costituiti da uno strato di resina che può variare tanto per la natura quanto per il valore dello spessore.

Possono essere ottenuti sia per fusione della resina sul pezzo preriscaldato sia per estrusione.

Nell'impiego in tubazioni essi si prestano tanto per la superficie interna quanto per l'esterna; per quest'ultima il rivestimento in resina può essere ottenuto anche mediante l'avvolgimento di nastri prefabbricati autoadesivi e con l'interposizione di adatto collante.

Nel caso di cavi il rivestimento è ottenuto generalmente per estrusione interponendo uno strato sigillante.

a.4.) Rivestimenti cementizi - Risultano composti da malte cementizie con spessore di vari millimetri. Nelle tubazioni trovano applicazione sulle superfici interne mediante centrifugazione.

b) Rivestimenti sottili o «verniciature»

b.1.) Verniciature - Sono generalmente costituite da più strati di vernici diverse: ciascuno di questi realizza i vari elementi del rivestimento stesso. Vengono applicati per mani successive e con metodi vari. Il loro campo di impiego si limita prevalentemente all'ambiente atmosferico.

b.2.) Protezioni temporanee - Sono costituite da una pellicola ottenuta con i metodi usuali. Realizzano una protezione temporanea su materiali da conservare al coperto o al chiuso e si differenziano dalle verniciature per la loro facile asportabilità.

c) Rivestimenti metallici o «metallizzazioni»

c.1.) Rivestimenti con metalli a bassa velocità di corrosione - Sono costituiti da un sottile strato di metallo che presenta una bassa velocità di reazione con l'ambiente (zinco, alluminio, piombo, stagno, ecc.). Possono essere ottenuti per immersione nel metallo fuso, per spruzzatura del metallo fuso, per diffusione a caldo, per elettrolisi, per via chimica.

c.2.) Rivestimenti con metalli resistenti alla corrosione - Sono costituiti da un sottile strato di metallo che, reagendo con l'ambiente, si autoprottegge.

Sono ottenibili con metodi vari.

4.1.06. - Classe dei materiali impiegati

4.1.06.1. - Materiali per i rivestimenti a spessore

a) **Rivestimenti bituminosi** - Il bitume, materiale base dei rivestimenti bituminosi, è il residuo della distillazione del petrolio grezzo. Tale residuo viene chiamato «bitume molle» e per la sua utilizzazione è necessario che venga polimerizzato (mediante ossidazione) al fine di migliorarne le caratteristiche.

a.1.) Materiale per lo strato di aderenza e sigillante - Di norma è costituito da una pellicola di bitume limitatamente ossidato.

a.2.) Materiale per lo strato protettivo - Lo strato protettivo è costituito da bitume ossidato ed opportunamente caricato, oppure tal quale, ma con adeguato punto di rammollimento.

a.3.) Materiali per l'armatura - I materiali per l'armatura sono costituiti sia da fibre tessili (vetro, amianto, juta, canapa, cellulosa), sotto forma di feltri, tele, nastri, fogli, lamine, sia da resine (guaine, nastri, fogli), sia da metalli (nastri, fili). I materiali costituiti da fibre tessili sono normalmente prebitumati ed all'atto dell'applicazione vengono completamente imbibiti con miscela bituminosa in modo da ottenere un'armatura compatta e continua con lo strato protettivo sottostante.

a.4.) Materiali per la finitura - Per la finitura si impiegano latte di calce (idrato di calcio in acqua), o nastri di carta, o talco.

b) Rivestimenti a base di catrame - Il catrame usato per i rivestimenti è un derivato della distillazione del carbon fossile. Il suo impiego richiede un preventivo ciclo di lavorazione che, genericamente, consiste in un trattamento di polimerizzazione o miscelazione con gomma.

b.1.) Materiali per l'aderenza, per lo strato protettivo, per l'armatura e per la finitura.

Per quanto riguarda i materiali costituenti i vari elementi del rivestimento, vale, in linea di massima, quanto è stato esposto per il rivestimento bituminoso al precedente punto a).

c) Rivestimenti in resina sintetica - Le resine sintetiche sono polimeri ad alto peso molecolare che vengono ottenuti per via sintetica (esistono pure resine naturali). Vengono divise in due grandi gruppi, a seconda che si tratti di resine che, a caldo, rammolliscono (termoplastiche), oppure induri-

scono (termoindurenti). I tipi che hanno avuto ed hanno tuttora impieghi più o meno estesi sono: polietilene (PE), epossidica, polivinile (PVC), poliammidica, poliesteri.

c.1.) **Materiali per lo strato di aderenza e sigillante** - Trattasi in linea di massima di collanti e di sigillanti ottenuti per soluzione delle resine stesse, tali da presentare caratteristiche di adesività o di sigillatura.

c.2.) **Materiali per lo strato protettivo, per l'armatura e per la finitura** - Date le particolari caratteristiche delle resine, strato protettivo, armatura e finitura risultano globalmente costituiti dalla resina stessa. Le resine possono essere impiegate tal quali, oppure miscelate (compound) o additivate (plasticanti, stabilizzanti, coloranti, riempitivi).

d) **Rivestimenti in gomma** - La gomma è un polimero ad alto peso molecolare che può essere ottenuto per sintesi (elastomeri) oppure può essere secreto da certe piante (gomme naturali). Il tipo attualmente usato è quello sintetico.

e) **Rivestimenti cementizi** - I cementi (portland, pozzolanico, d'alto forno) derivano dalla cottura di calcari, marne, argille, silicati, scorie d'alto forno. Il prodotto di cottura (clinker) viene finemente macinato e, per idratazione, dà una pasta che, mescolata a sabbia, subisce un processo di indurimento per la formazione di trisilicato di calcio.

4.1.06.2. - *Materiali per rivestimenti sottili o «verniciature»*

a) **Verniciature** - Le vernici sono soluzioni di resine, di olii, di esteri cellulosici o bitumi contenenti additivi vari. Sono generalmente costituite da un solvente, da un legante, da pigmenti, da additivi e da eventuale carica.

I prodotti più comunemente usati sono:

- per i solventi: prodotti organici alifatici (alcooli, esteri, ecc.) e ciclici (nafta solvente, ragia minerale, ecc.);
- per i leganti: resine, gomme, bitumi, olii vegetali siccativi, olii animali ed olii composti (olio di lino, olio di ricino, ecc.);

— per i pigmenti: ossidi e sali metallici (ossido di zinco, di piombo, di cromo, di ferro, carbonato di zinco, cromato di piombo, ecc.), terre coloranti (terra di Siena), pigmenti organici, pigmenti metallici (di bronzo, di alluminio, ecc.);

— per gli additivi: plastificanti (resine), stabilizzanti (silice colloidale, ecc.), acceleranti (prodotti ossidanti);

— per la carica: solfato di calcio, solfato di bario, carbonato di calcio, ecc.

a.1.) Materiale per lo strato di aderenza - Generalmente viene utilizzata la vernice dello strato successivo opportunamente diluita (primer).

a.2.) Materiale per lo strato protettivo - Vengono utilizzate delle vernici che hanno funzioni essenzialmente antiruggine (vernice al minio di piombo, al cromato di piombo, ecc.).

a.3.) Materiale per l'armatura e per la finitura - Sono vernici che forniscono particolari prestazioni di elasticità, impermeabilità, resistenza meccanica e di tonalità di colore.

b) Protezioni temporanee - A questo scopo vengono utilizzati olii vegetali siccativi, olii minerali, soluzioni di resine naturali o sintetiche in olii vegetali o minerali o in solventi organici.

4.1.06.3. - *Rivestimenti metallici o «metallizzazioni»*

a) Materiali a bassa velocità di corrosione - Vengono utilizzati metalli che reagiscono lentamente con l'ambiente esterno dando origine a prodotti di corrosione non compatti (zinco, alluminio, stagno, piombo); alcuni di questi metalli (alluminio, zinco), se immersi in un ambiente elettrolitico, accoppiati con il ferro offrono pure il vantaggio di costituire l'anodo di tale accoppiamento.

b) Materiali resistenti alla corrosione - Si tratta di metalli che, esposti all'ambiente, si ricoprono di una sottilissima pellicola di ossido compatto ed aderente che impedisce il proseguimento del fenomeno corrosivo (nichel, cromo).

SEZIONE II - RIVESTIMENTI BITUMINOSI PER TUBI E PEZZI SPECIALI IN ACCIAIO: «ESTERNO NORMALE», «ESTERNO PESANTE», «INTERNO A SPESSORE» E «SEMPLICE BITUMATURA INTERNA».

4.2.01. - Caratteristiche e prestazioni dei rivestimenti

4.2.01.1. - Caratteristiche e prestazioni del rivestimento «esterno normale»

Esso sarà costituito da:

- preparazione superficiale (vedasi alinea 4.2.03.1. a)

}	per tubi senza saldatura preparazione tipo 1
	per tubi saldati preparazione tipo 3 o 4
- pellicola di aderenza
- strato protettivo con spessore minimo di 2 mm
- armatura: doppio strato di feltro di vetro
- finitura.

Il rivestimento dovrà soddisfare alle seguenti specifiche:

- spessore nominale: è indicato in funzione dei diversi diametri nominali nella seguente tabella:

Diametro nominale		Spessore rivestimento «normale» mm
pollici	mm	
$\frac{1}{2} \div 1\frac{1}{4}$	15 ÷ 32	2,5
$1\frac{1}{2} \div 2\frac{1}{2}$	40 ÷ 65	3
3 ÷ 4	80 ÷ 100	3,5
5 ÷ 6	125 ÷ 150	4
8 ÷ 12	200 ÷ 300	4,5
14 ÷ 16	350 ÷ 400	5
18 ÷ 20	450 ÷ 500	5,5
22 ÷ 24	550 ÷ 600	6,5
26 ÷ 32	650 ÷ 800	7
34 ÷ 36	850 ÷ 900	7,5

Mentre non sono stati fissati dei limiti agli scostamenti positivi rispetto ai valori nominali sopraelencati, deve essere garantito un limite agli scostamenti negativi.

- continuità e uniformità (valore efficace della tensione nella prova di scintillamento o «spark test»): 10 ÷ 15 kV
- coefficiente di aderenza medio: > 90%
- coefficiente di aderenza locale: > 75%

I controlli da effettuare per il rispetto delle suddette specifiche sono riportati nell'alinea 4.2.02. mentre i metodi per eseguire le prove relative sono indicate nell'Appendice B per la prova di scintillamento, nell'Appendice C per la prova di aderenza.

Le prestazioni del rivestimento lo rendono adatto ad essere utilizzato per tubi di piccolo diametro ($\varnothing \leq 150$ mm) da installare in terreni sciolti o poco aggressivi, facilmente accessibili e preferibilmente non percorsi da correnti vaganti; la temperatura massima di esercizio del rivestimento non dovrà superare i 40 °C.

4.2.01.2. - *Caratteristiche e prestazioni del rivestimento «esterno pesante»*

Esso sarà costituito da:

- preparazione superficiale (vedasi alinea 4.2.03.1. a)

{	per tubi senza saldatura preparazione tipo 1
}	per tubi saldati preparazione tipo 3 o 4
- pellicola di aderenza
- strato protettivo con spessore minimo di 2 mm
- prima armatura: uno strato di feltro di vetro
- seconda armatura: uno strato di tessuto di fibre di vetro
- finitura

Il rivestimento dovrà soddisfare le seguenti specifiche:
 — spessore nominale: è indicato in funzione dei diversi diametri nominali nella seguente tabella:

Diametro nominale		Spessore rivestimento «pesante» mm
pollici	mm	
$\frac{1}{2} \div 1\frac{1}{4}$	15 ÷ 32	3
$1\frac{1}{2} \div 2\frac{1}{2}$	40 ÷ 65	4
3 ÷ 4	80 ÷ 100	4,5
5 ÷ 6	125 ÷ 150	5
8 ÷ 12	200 ÷ 300	5,5
14 ÷ 16	350 ÷ 400	6
18 ÷ 20	450 ÷ 500	7
22 ÷ 24	550 ÷ 600	8
26 ÷ 32	650 ÷ 800	8,5
34 ÷ 36	850 ÷ 900	9

Mentre non sono stati fissati dei limiti agli scostamenti positivi dai valori nominali sopraelencati, deve essere garantito un limite agli scostamenti negativi.

- continuità e uniformità: 15 ÷ 20 kV
- coefficiente di aderenza medio: > 90%
- coefficiente di aderenza locale: > 75%

Analogamente a quanto si è detto sulle specifiche del rivestimento normale, per i controlli e i metodi di prova si rimanda all'alinea 4.2.02. e alle Appendici B e C.

Il rivestimento esterno pesante è adatto ad essere vantaggiosamente utilizzato per tubi di medio e grosso diametro. Inoltre dovrà essere sempre adottato quando si tratti di terreni poco areati, o compatti, o argillosi, o acquitrinosi o salmastri, o frammisti a sassi e rocce, o difficilmente accessibili, o percorsi da correnti vaganti; lo stesso rivestimento sarà adottato anche nel caso di tubazioni sottomarine. La tempe-

ratura massima di esercizio del rivestimento non dovrà superare i 40 °C.

4.2.01.3. - *Caratteristiche e prestazioni del rivestimento «interno a spessore»*

Esso sarà costituito da:

- preparazione superficiale: tipo 3 completata con fosfatizzazione oppure tipo 5
- pellicola di aderenza
- strato protettivo con spessore di $1,5 \div 3$ mm

Il rivestimento dovrà soddisfare le seguenti specifiche:

- spessore: $2 \div 3$ mm
- continuità e uniformità: 10 kV

Il rivestimento serve come protezione nel caso di convogliamento di acque o fluidi aggressivi; la temperatura massima di esercizio del rivestimento non dovrà superare i 40 °C. È necessario tener presente che si dovranno adottare i tipi di giunzione (flangia, victaulic, camera d'aria, gibault, ecc.) che non alterino il rivestimento interno durante l'esecuzione della giunzione stessa, salvo che si possa provvedere ad adeguata riparazione o ad altri accorgimenti sostitutivi.

4.2.01.4. - *Caratteristiche e prestazioni della «semplice bitumatura interna»*

Essa sarà costituita da:

- preparazione superficiale tipo 1
- sottile strato di bitume dello spessore $30 \div 100$ micron.

Questo tipo di rivestimento serve come protezione temporanea e quindi non è adatto per il convogliamento di acqua o fluidi aggressivi.

4.2.02. - **Controlli sui rivestimenti**

4.2.02.1. - *Generalità*

I controlli sui rivestimenti vengono divisi in due gruppi a seconda che si tratti di «controlli correnti» o di «controlli saltuari»; per essi ci si attiene alle prove descritte dalla Comunicazione n. 13 - Edizione 1962 - del Metaalinstituut T.N.O., alcune delle quali sono riportate nelle Appendici B e C.

4.2.02.2. - *Controlli correnti*

Questi controlli vengono eseguiti sistematicamente sul rivestimento finito.

Rivestimento esterno:

- spessore
- continuità ed uniformità

Rivestimento interno a spessore:

- continuità ed uniformità.

4.2.02.3. - *Controlli saltuari*

Questi controlli vengono eseguiti con minor frequenza di quelli correnti; in genere quando si cambia la partita o si rilevano anomalie sui risultati dei controlli correnti.

Rivestimento esterno:

- coefficiente di aderenza
- costituzione.

4.2.03. - **Specifiche per l'applicazione dei rivestimenti**

4.2.03.1. - *Specifiche per l'applicazione dei rivestimenti esterni*

a) *Preparazione della superficie*

Per i tubi in acciaio è richiesta una preparazione superficiale in modo che il rivestimento aderisca alla superficie resa

adeguatamente pulita e ruvida.

Qui di seguito si espongono i vari tipi di preparazione superficiale del tubo.

Preparazione tipo 1

Asportazione di macchie di olio, di grasso, di polvere ed altre sostanze già distaccate, essiccazione della superficie. Questa preparazione può essere ottenuta mediante strofinamento con stracci imbevuti di solvente oppure per riscaldamento.

Preparazione tipo 2

Oltre l'asportazione di macchie di olio, di grasso, di polveri ed altre sostanze già distaccate ed all'essiccamento della superficie si dovrà asportare l'eventuale ruggine e la calamina friabile tollerando la permanenza della calamina aderente.

Tale preparazione dovrà essere eseguita mediante strofinamento del tubo per asportare l'olio ed il grasso, seguito da spazzolatura, meglio se meccanica, comunque eseguita con adeguata energia.

Preparazione tipo 3

Asportazione di tutte le sostanze estranee e degli ossidi dalla superficie del metallo senza danneggiare quest'ultima. Questa preparazione viene ottenuta mediante decapaggio, previo eventuale sgrassaggio.

Preparazione tipo 4

Oltre lo sgrassaggio, l'essiccamento e l'asportazione delle sostanze già distaccate e della ruggine e calamina friabile si richiede anche l'inizio del distacco della calamina aderente. Questa preparazione può essere ottenuta mediante una leggera sabbiatura (sabbiatura commerciale) oppure una energica spazzolatura meccanica.

Preparazione tipo 5

Oltre lo sgrassaggio, l'essiccamento e l'asportazione delle sostanze già distaccate e della ruggine e calamina friabile si dovrà ottenere il distacco di buona parte della calamina aderente. Questa preparazione può essere ottenuta mediante una sabbiatura media (sabbiatura al metallo quasi bianco).

Preparazione tipo 6

Oltre lo sgrassaggio, l'essiccamento e l'asportazione delle sostanze già distaccate e della ruggine e calamina friabile si dovrà ottenere il distacco completo della calamina. Ciò è ottenibile mediante una sabbiatura profonda (sabbiatura al metallo bianco).

b) *Applicazione della pellicola di aderenza*

Può essere ottenuta con uno dei due seguenti metodi:

— immersione del tubo in una vasca contenente il bitume fuso ad una temperatura di $190 \div 220$ °C; l'immersione dovrà durare $10 \div 30$ primi a seconda dello spessore della parete del tubo ed in modo che il tubo stesso raggiunga la temperatura del bagno; qualora il tubo venga preriscaldato alla temperatura del bagno la durata dell'immersione potrà essere limitata ad $1 \div 2$ primi;

— verniciatura con uno dei noti sistemi.

La pellicola di aderenza deve essere applicata prima che la preparazione superficiale possa subire alterazioni sensibili.

c) *Applicazione dello strato protettivo*

Si ottiene mediante un getto di miscela fusa che investe il tubo animato da adeguato movimento. È indispensabile che lo strato protettivo venga applicato su pellicola di aderenza già raffreddata od essiccata, a seconda del tipo di applicazione usato.

d) *Applicazione delle armature*

Sarà eseguita secondo uno dei due seguenti metodi:

— avvolgendo ad elica il nastro sul tubo previo passaggio in vaschetta contenente la miscela fusa;

— avvolgendo ad elica il nastro asciutto sullo strato protettivo ancora fuso, aumentando contemporaneamente l'imbibizione mediante un getto di bitume sulla faccia esterna del nastro appena avvolto. L'avvolgimento deve essere eseguito in modo da garantire la continuità della copertura della superficie da parte del nastro, l'aderenza fra i diversi strati e l'imbibizione del nastro stesso.

e) *Applicazione della finitura*

Viene eseguita mediante un abbondante getto di latte di calce sul rivestimento ancora caldo.

f) *Applicazione del rivestimento esterno sui pezzi speciali*

Ci si dovrà attenere il più possibile agli stessi procedimenti seguiti per i tubi e cioè:

— pellicola di aderenza: con lo stesso procedimento impiegato per i tubi;

— strato protettivo: versando la miscela fusa sulla superficie e ruotando a tratti il pezzo da rivestire;

— armatura: avvolgendo a mano spezzoni di nastro imbibiti di miscela mentre essa è ancora fusa;

— finitura: spalmando la soluzione di idrato di calcio mediante spazzole.

4.2.03.2. - *Specifiche per l'applicazione dei rivestimenti interni*

a) *Preparazione della superficie*

Vale quanto detto al punto a) dell'alinea 4.2.03.1..

b) *Applicazione del rivestimento «interno a spessore»*

Ci si deve attenere al seguente ciclo:

- pellicola di aderenza: per immersione in vasca di bitume fuso o per verniciatura;
- strato protettivo: versamento della miscela bituminosa entro il tubo e sua centrifugazione mediante rotazione del tubo stesso.

c) *Applicazione della «semplice bitumatura interna»*

Può essere ottenuta sia per immersione in vasca di bitume fuso che per verniciatura.

4.2.04. - Specifiche per i materiali da rivestimento

4.2.04.1. - Specifiche per i materiali della pellicola di aderenza

- punto di rammollimento P. A. 80 ÷ 120 °C
- punto di rottura di Fraass con P. A. 80 < - 8 °C
- penetrazione (25 °C - 100 g - 5 s) < 30 dmm
- solubilità in CCl₄ > 99,3%

4.2.04.2. - Specifiche per le miscele bitumose dello strato protettivo e di imbibizione delle armature

Miscela per rivestimento «esterno normale» ed «esterno pesante»

- punto di rammollimento P. A. 100 ÷ 130 °C
- punto di rottura di Fraass con P.A. 100 < - 6 °C
- penetrazione (25 °C - 100 g - 5 s) < 20 dmm
- carica < 50%
- scorrimento ≤ 15 mm
- impronta ≤ 17 mm

Miscela per rivestimento «interno a spessore»

- punto di rammollimento P. A. 90 ÷ 120 °C
- punto di rottura di Fraass < - 6 °C
- penetrazione (25 °C - 100 g - 5 s) < 20 dmm
- carica < 30%
- scorrimento ≤ 20 mm

4.2.04.3. - *Specifiche per i materiali di carica*

Materiali di carica per rivestimento «esterno normale» ed «esterno pesante»

— natura	ardesia
— umidità	< 2%
— perdita alla calcinazione	< 25%
— residuo al vaglio di 10.000 maglie/cm ²	< 5%

Materiali di carica per rivestimento «interno a spessore»

— natura	amianto in polvere o a fibra cortissima.
--------------------	--

4.2.04.4. - *Specifiche per i materiali di armatura*

Feltro di fibra di vetro

— peso del nastro	$60 \pm 10 \text{ g/m}^2$
— classe idrolitica del vetro	≤ 3
— resistenza alla trazione in senso longitudinale del nastro (larghezza della provetta: 5 cm)	$> 12 \text{ kg/5 cm}$
— resistenza alla trazione in senso trasversale del nastro (larghezza della provetta: 5 cm)	$> 5 \text{ kg/5 cm}$
— appretto per nastri prebitumati:	
— peso	$5 \div 12\%$
— bitume ²	$> 25\%$
— resina	$< 75\%$
— appretto per nastri non prebitumati:	
— peso	$< 8\%$
— umidità	$< 2\%$

Tessuto di fibra di vetro

— peso del nastro	$220 \pm 20 \text{ g/m}^2$
— classe idrolitica del vetro	≤ 3

² La bitumatura sarà ottenuta a mezzo di bitume disciolto in solventi (vernice) e non disperso in acqua (emulsione).

- resistenza alla trazione in senso longitudinale (larghezza della provetta: 5 cm) >40 kg/5 cm
- resistenza alla trazione in senso trasversale (larghezza della provetta: 5 cm) . >40 kg/5 cm
- appretto per nastri prebitumati:
 - peso 10 ÷ 25%
 - bitume > 95%
 - resina < 5%
- appretto per nastri non prebitumati³:
 - peso < 5%
 - resina 100%
- numeri di fili in ordito >25/10 cm
- numeri di fili in trama >20/10 cm
- umidità < 2%

4.2.05. - Controlli sui materiali da rivestimento

4.2.05.1. - Generalità

I controlli sui materiali impiegati per la fabbricazione dei rivestimenti vengono divisi in due gruppi a seconda che si tratti di «controlli correnti» oppure di «controlli saltuari»; per essi ci si attiene alle prove descritte dalla sopracitata Comunicazione n. 13 del Metaalinstituut T.N.O. riportate nell'Appendice B o ad altre citate a fianco di ciascuna determinazione.

4.2.05.2. - Controlli correnti

Questi controlli vengono eseguiti sistematicamente durante la fabbricazione del rivestimento.

Materiali dello strato di aderenza con o senza solvente:

- aderenza (UNI 4715)
- punto di rammollimento P. A. (UNI 4161)

³ Si ritiene utile far presente che è sconsigliabile l'uso di nastri o di tessuti non prebitumati: infatti il rivestimento risultante scade nella compattezza e quindi nella impermeabilità.

- punto di rottura di Fraass (IP 80/53)
- solubilità (NOM. M26/51)

Miscela bituminosa dello strato protettivo e di imbibizione delle armature:

- punto di rammollimento P. A. (UNI 4161)
- punto di rottura di Fraass (IP 80/53)
- penetrazione (25 °C - 100 g - 5 s) (UNI 4162)
- carica (UNI 4158)

Miscela per rivestimento interno a spessore:

- punto di rammollimento P. A. (UNI 4161)
- punto di rottura di Fraass (IP 80/53)
- penetrazione (25 °C - 100 g - 5 s) (UNI 4162)
- carica (UNI 4158)

Materiali di carica (ardesia):

- umidità
- perdita alla calcinazione
- residuo al vaglio

Materiale di armatura costituito da feltro di fibra di vetro:

- peso
- classe idrolitica
- resistenza a trazione longitudinale
- resistenza a trazione trasversale
- appretto (natura e peso)

Materiale di armatura costituito da tessuto di fibra di vetro:

- peso
- classe idrolitica
- maglie
- resistenza a trazione longitudinale
- resistenza a trazione trasversale
- appretto (natura e peso)

4.2.05.3. - *Controlli saltuari*

Questi controlli vengono eseguiti con minor frequenza di quelli correnti; in genere quando si cambia la partita o si rilevano anomalie sui risultati dei controlli correnti.

Materiale dello strato di aderenza senza solvente:

— penetrazione (25 °C - 100 g - 5 s)

Miscela bituminosa dello strato protettivo e di imbibizione delle armature:

— scorrimento

— impronta

Miscela per rivestimento interno a spessore:

— scorrimento

— penetrazione (25 °C - 100 g - 5 s)

SEZIONE III - RIVESTIMENTI BITUMINOSI PER CAVI ARMATI

4.3.01. - **Caratteristiche e prestazioni dei rivestimenti**

I rivestimenti per cavi armati sono costituiti da:

— strato di aderenza;

— nastature di carta;

— armatura metallica (in nastro di acciaio);

— strato protettivo (bitume armato con juta);

— finitura.

Gli spessori nominali dello strato del rivestimento **protettivo**, costituito dagli strati sovrastanti l'**armatura metallica**, sono indicati nella seguente tabella:

Diametro cavi in mm	< 12	12 ÷ 20	20 ÷ 45	45 ÷ 55	> 55
Tipo di armatura metallica	Spessori in mm				
a nastri	—	2	2	2	2,5
a fili	2	2	2	2,5	—
a piattina	—	—	2	2	2,5

Gli spessori effettivi non devono essere inferiori all'80% dei valori nominali.

Tali rivestimenti furono per molti decenni largamente diffusi quale protezione anticorrosiva per le guaine di piombo dei cavi sotterranei. In quest'ultimo decennio essi hanno lasciato sempre più il posto alle guaine termoplastiche e non si usano ormai più quando si sa che il pericolo di corrosione è grave, per es. per correnti vaganti o perché il terreno è imbevuto di agenti chimici aggressivi (fra cui germi di fermentazione) e quando il metallo da proteggere è alluminio anziché piombo o acciaio.

4.3.02. - Specifiche per l'applicazione dei rivestimenti

Per l'applicazione dei rivestimenti ai cavi armati si eseguono, nell'ordine, le seguenti operazioni:

a) irrorazione a caldo della guaina con un getto di miscela bituminosa fusa;

b) applicazione di almeno due nastature di carta prebitumata avvolta ad elica, ad orli sovrapposti, con interposizione di miscela bituminosa fra il primo ed il secondo nastro;

c) ripetizione dell'operazione *a)*;

d) ripetizione dell'operazione *b)*, ma con senso di avvolgimento delle nastature opposto;

e) due nastature di ferro, oppure uno strato di filo o piattina di ferro, preventivamente spalmate di miscela bituminosa;

f) ripetizione dell'operazione *a)*;

g) fasciatura a spire serrate di filato di juta prebitumata;

h) ripetizione dell'operazione *a)*;

i) spalmatura di latte di calce o talco.

4.3.03. - Specifiche per i materiali da rivestimento

a) Specifiche per la miscela bituminosa dello strato protettivo:

— estratto acquoso:	{	< 0,1% del peso della miscela
	{	reazione neutra
— temperatura di screpolatura	{	< 5 °C per miscela di copertura
	{	< 15 °C per miscela «di impregnamento delle fasciature esterne»
— punto di goccia	{	> 50 °C per miscela di copertura
	{	> 80 °C per miscela «di impregnamento delle fasciature esterne»
— viscosità a 100 °C:	{	fra 7° e 10° E per miscela di preimpregnamento

b) Specifiche per i materiali dell'armatura metallica:

— natura: nastri, fili e piattine di ferro

— carico di rottura a trazione: > 30 kg/mm²

— allungamento a rottura: > 10%

— spessore: ci si attiene al Capitolato N.U.-2 del Ministero P.T. (alinee 2.4. e 2.5.).

I fili e le piattine in ferro per armature devono avere zincatura formata con zinco puro di spessore uniforme e superficie liscia; ciò non è richiesto per i nastri.

c) Specifiche per il filato di juta:

— titolo: da 850 a 2500 m/kg

d) Specifiche per i materiali da imbottitura:

— natura: nastro di carta crespata, adatta a imbevversi di miscela bituminosa;

— spessore: ci si attiene al Capitolato Tecnico N.U.-2 del Ministero P.T..

e) Specifiche per i materiali di finitura:

— natura: idrato di calcio o talco.

4.3.04. - **Controlli sui rivestimenti e sui materiali da rivestimento**

4.3.04.1. - *Generalità*

Si effettuano prove sia sui materiali impiegati per la fabbricazione del rivestimento, sia sui rivestimenti già applicati.

4.3.04.2. - *Prove sui materiali*

Come esempio si citano di seguito le prove descritte dal Capitolato tecnico N.U.-2 del Ministero P.T. per i cavi telefonici interurbani.

Per il controllo dell'estratto acquoso, del punto di goccia e della viscosità sono citate le norme N.O.M. del Laboratorio Olii Minerali di Milano.

a) Miscela bitumosa:

— estratto acquoso (N.O.M. - M37/52);

— resistenza alla screpolatura (Cap. Tecnico N.U.-2 Ministero P.T. - Ed. 1963 - alinea 4.2.5.);

— punto di gocciolamento Ubbelohde (N.O.M. - M16.51/52);

— viscosità relativa (N.O.M. - M27.51/52).

b) Materiali di imbottitura:

— carta crespata (Cap. Tecnico N.U.-2 Ministero P.T. - Ed. 1963 - alinea 4.2.4.).

c) Fili e piattine:

— uniformità dello spessore (Cap. Tecnico N.U.-2 Ministero P.T. - Ed. 1963 - alinea 4.2.6.).

4.3.04.3. - *Prove sui rivestimenti*

Generalmente sui cavi protetti con rivestimento bituminoso non si fanno prove elettriche paragonabili a quelle che si eseguono sulle pezzature intere dei cavi protetti con rivestimento termoplastico.

L'unico controllo di interesse corrosionistico è quello della misura dello spessore della imbottitura e della fasciatura esterna (Cap. Tecnico N.U.-2 Ministero P.T. - Ed. 1963 - alinea 4.2.1.).

SEZIONE IV - RIVESTIMENTI IN POLIETILENE PER TUBI IN ACCIAIO

4.4.01. - **Generalità**

La protezione anticorrosiva dei tubi in acciaio mediante rivestimenti di resine sintetiche va sempre più estendendosi in quanto permette di conseguire risultati molto interessanti.

Pur potendo, almeno teoricamente, impiegare un gran numero di prodotti di questa natura, la scelta rimane tuttavia limitata da problemi tecnologici ed economici. Attualmente si può ritenere che la resina polietilenica abbia in pratica superato tali barriere ed abbia possibilità di affermarsi su un piano di competitività tecnico-economica rispetto ai tradizionali rivestimenti a base di bitume, di catrame ecc.

Dato quindi il particolare interesse destinato finora da questo nuovo rivestimento ed il rapido sviluppo che se ne prevede, si ritiene opportuno darne una definizione.

4.4.02. - Rivestimento in polietilene

Il rivestimento viene fabbricato apportando la resina in polvere sulla superficie del tubo adeguatamente riscaldata e pulita.

Il rivestimento risultante deve avere le seguenti caratteristiche:

a) **Spessore** - Lo spessore dovrà rientrare entro i limiti riportati nella tabella sottostante:

Diametro nominale del tubo mm	Spessore del rivestimento mm
50 60 ÷ 125	$2 \pm 0,2$
125 ÷ 175 200 ÷ 300	$2,5 \pm 0,2$
350 ÷ 400 550 ÷ 900	$3 \pm 0,3$

Lo spessore deve essere misurato utilizzando uno strumento elettromagnetico.

b) **Caratteristiche superficiali** - Il rivestimento dovrà essere opportunamente pigmentato in modo da ridurre al minimo il suo deterioramento per effetto dell'esposizione all'atmosfera (azione dei raggi ultravioletti) prima della sua posa in opera.

c) **Aderenza** - Sarà misurata determinando la forza necessaria al distacco dal tubo di un anello di rivestimento largo 5 cm; tale forza dovrà essere non minore di

$$25 \text{ kg}/5 \text{ cm}; (*)$$

naturalmente l'anello sarà preventivamente inciso lungo le

(*) Si fa presente che recentemente le DIN hanno prescritto un limite inferiore pari a 17,5 Kg/5cm.

due circonferenze che lo delimitano e staccato per 1 cm lungo una generatrice.

d) **Isolamento** - Il controllo complessivo sarà effettuato con un apparecchio generatore di alta tensione avente lo spinterometro regolato ad una distanza pari al doppio dello spessore del rivestimento.

SEZIONE V - RIVESTIMENTI TERMOPLASTICI PER CAVI

4.5.01. - Generalità

Le guaine termoplastiche (specialmente quelle di PVC e di PE) sono oggi i rivestimenti anticorrosivi più usati per i cavi. Essi sono preferiti sempre più ai rivestimenti stratificati perché assicurano una protezione più efficace e più duratura. Tali guaine sono indispensabili quando il metallo da proteggere è alluminio o nel caso di guaine di piombo blindate con nastri di rame, bronzo o acciaio.

4.5.02. - Caratteristiche dei rivestimenti termoplastici

a) **Spessore** - Le norme C.E.I. 20-1 relative ai *cavi per energia* isolati con carta impregnata danno, per es., una tabella basata sulla formula seguente:

$$s = 0,036 D + 0,9 \text{ mm}$$

dove D (in mm) è il diametro interno teorico della guaina (calcolato in sede di progetto del cavo) e dove lo spessore risultante s viene arrotondato di 0,1 in 0,1 mm e viene preso uguale a 1,4 mm se dalla formula risulta un valore minore.

Se la guaina è coperta da un'armatura metallica, lo spessore trovato come detto sopra viene ridotto di 0,4 mm; in altri casi invece viene aumentato di 0,3 mm.

Le Norme del Ministero P.T. (Cap. Tecnico N.U.-2) e della SIP per i *cavi telefonici* danno invece la formula seguente, valevole per i cavi con *guaina di piombo*:

$$s = 0,032 D + 1,0 \text{ mm}$$

con un minimo di 1,3 anziché di 1,4 mm.

Se la guaina dei *cavi telefonici* è di *alluminio*, le stesse Norme danno per la guaina plastica la formula:

$$s = 0,05 D + 1,0 \text{ mm}$$

con un minimo di 1,5 mm.

Formule analoghe, da cui risultano valori di s solo leggermente diversi a parità di diametro interno D , sono date da altre Norme italiane e straniere. Esse valgono, in genere, indifferentemente per guaine di PVC e di PE.

Tutte le Norme danno poi delle regole per le tolleranze sugli spessori (differenze ammissibili tra i valori prescritti ed i valori effettivamente trovati nelle guaine dei cavi finiti); in genere, la tolleranza ammessa è maggiore per le guaine applicate su superfici non lisce (per es. su armature a nastri o fili metallici) che per le guaine applicate su guaine metalliche lisce. Talvolta si ammette una tolleranza sul «valore effettivo in qualsiasi punto».

Per esempio una formula spesso usata per il calcolo della tolleranza in qualsiasi punto dello spessore delle guaine applicate su superfici lisce è la seguente:

$$t = 0,15 s + 0,1 \text{ mm},$$

dove s è lo spessore dichiarato o prescritto in sede di progetto del cavo. Le Norme relative ai cavi danno infine precise e dettagliate prescrizioni sulle modalità di controllo degli spessori delle guaine termoplastiche; tali prescrizioni sono praticamente uguali in tutte le Norme.

b) Caratteristiche superficiali - Le superfici delle guaine termoplastiche devono essere protette con una opportuna pigmentazione, nera o grigia, atta a prevenire le alterazioni causate dall'esposizione iniziale agli agenti atmosferici. Esse inoltre non devono presentare rigature o bolle.

SEZIONE VI - CONTROLLO DEI RIVESTIMENTI TERMOPLASTICI PER CAVI

4.6.01. - Generalità

Le Norme relative ai cavi non danno mai prescrizioni sulla composizione chimica delle mescole a base di PVC o di PE. Prescrivono invece un insieme di prove meccaniche, termiche, elettriche, ecc., atte ad assicurare la idoneità delle guaine alle condizioni d'impiego e di posa previste per i cavi. Tali prove vengono eseguite su pezzi di guaina prelevati dai cavi finiti (per altre prove vedasi 4.6.03.) con modalità di campionatura, di preparazione dei provini, di condizionamento, di strumentazione, di esecuzione delle prove e di valutazione dei risultati minuziosamente descritte.

Le Norme C.E.I. 20-11 (2^a Ed. 1968) danno le suddette prescrizioni per le prove dei materiali elastici e termoplastici dei cavi per energia, mentre quelle per le prove dei materiali termoplastici dei cavi telefonici sono date dai Capitolati del Ministero P.T., del Ministero dei Trasporti e della SIP. Si ritiene utile elencare di seguito le principali prove riportate in tali Norme e Capitolati.

4.6.02. - Prove su campioni di guaina

a) Prove meccaniche - Determinazione del carico di rottura e dell'allungamento a rottura allo stato naturale e dopo un invecchiamento artificiale in aria calda; per il PVC si

chiede, talvolta, di determinare anche la diminuzione di peso dei provini in seguito a tale invecchiamento.

(Cap. Tecnico N.U.-2 - Ministero P.T. - Ed. 1963 - Alinea 4.2.7. - punto a).

(I.E.C. TC 46-1967).

b) Prove di deformazione a caldo - Determinazione della profondità di penetrazione di un punzone, di una lama o di un filo teso ad una data temperatura e in un dato tempo.

(Cap. citato - Alinea 4.2.7. punto b).

c) Prove di flessibilità a freddo - Piegatura su determinati mandrini a determinata temperatura.

(Cap. citato - Alinea 4.2.7. punto c).

(I.E.C. TC 46-1967).

d) Prove di fragilità a freddo - Percussione con determinati pesi e diverse temperature.

(Cap. citato - Alinea 4.2.7. punto d).

e) Prove particolari - Le Norme della Commissione Elettrotecnica Internazionale (I.E.C. TC-46 - 1967) stabiliscono le prove particolari da eseguire sulle guaine in PVC e PE.

Le prove per il PVC sono raccolte nella pubblicazione I.E.C. 189 parti I e II.

Le prove per il PE sono raccolte nei documenti I.E.C. TC-46 - 1967 e riguardano sia il PE con nerofumo sia il PE non infiammabile; si citano le seguenti prove:

e-1) - indice di termofluidità prima e dopo invecchiamento in ossigeno.

(I.S.O. R 292 - 1963),

e-2) - densità.

(I.S.O. 1675-1968),

e-3) - contenuto in nerofumo che deve essere limitato se la guaina di PE è destinata ad essere esposta lungamente alla luce.

(A.S.A. C - 835 - Appendice B - 1957),

- e-4) - resistenza al «environmental stress cracking»,
- e-5) - resistenza alla fiamma (PE a infiammabilità ridotta).

4.6.03. - Prove sulle pezzature dei cavi

4.6.03.1. - *Controllo delle caratteristiche elettriche*

L'azione protettiva delle guaine contro la corrosione, in particolare contro la corrosione che può essere prodotta dalle correnti vaganti, è basata sull'isolamento elettrico da esse assicurato ai rivestimenti metallici rispetto a terra.

Si prescrive che la resistenza d'isolamento sia non inferiore a determinati valori, che sono dell'ordine di alcune decine di megaohm · km per le guaine di PVC e di alcune migliaia di megaohm · km per quelle di PE (alla temperatura di 20 °C). I valori limiti sono calcolati in funzione degli spessori e dei diametri delle guaine e sulla base dei valori normali della resistività di massa delle mescole di PVC e PE di buona qualità. Ovviamente se si trovassero valori più bassi dei minimi prescritti, essi sarebbero probabilmente accettabili per l'azione protettiva immediata, ma denoterebbero che la guaina è costituita da materiale di non buona qualità, oppure che presenta dei difetti in qualche punto e non darebbe quindi sufficienti garanzie per una lunga durata del cavo.

In pratica, per svelare eventuali punti difettosi (anche quelli che non sarebbero rivelati dalla misura della resistenza d'isolamento), si esegue una prova ad alta tensione sulle guaine. Questa prova (per le cui prescrizioni vedasi 4.6.03.2.) viene di solito eseguita su tutte le pezzature di cavo, mentre la misura della resistenza d'isolamento può essere limitata a qualche pezzatura, giacché il suo scopo si riduce allora al controllo della resistività di massa, cioè della buona qualità della mescola.

La prova ad alta tensione ha in certi casi lo scopo di verificare non solo l'integrità e l'idoneità della guaina ai fini della protezione anticorrosiva, ma anche l'idoneità e la sicurezza della guaina ai fini di una protezione contro le sovratensioni. Queste possono essere causate da scariche atmosferiche o da guasti e fenomeni transitori negli impianti elettrici; le guaine devono essere in grado di sopportarle senza esserne perforate (altrimenti anche la sicurezza contro la corrosione può risultare compromessa nel punto della perforazione).

Si ritiene utile infine ricordare un problema riguardante le guaine di certi cavi per energia. Si desidera che i tubi di piombo ed i conduttori concentrici di certi cavi non siano isolati da terra, bensì costituiscano essi stessi delle «prese di terra» o dei «dispersori di terra» per gli impianti elettrici di cui i cavi fanno parte. Nello stesso tempo si desidera che tubi di piombo e conduttori concentrici siano protetti contro la corrosione, quindi siano isolati da terra. Attualmente materiali per guaine che siano isolanti per le correnti ioniche (corrosione) e nello stesso tempo conduttrici per le correnti elettroniche (prese di terra) non hanno ancora dato risultati soddisfacenti: le due proprietà sembrano poter coesistere in una certa misura, ma con l'andar del tempo peggiorano in modo inaccettabile.

4.6.03.2. - *Rigidità dielettrica ad alta tensione*

Il Supplemento 1 alle Norme C.E.I. 20-1, relative ai cavi per energia isolati con carta impregnata, contiene le prescrizioni di prova per le guaine termoplastiche applicate sulle guaine di piombo o di alluminio di tali cavi; esse sono sostanzialmente uguali alle Raccomandazioni Internazionali I.E.C. 229. Per i cavi telefonici esistono prescrizioni praticamente uguali nei Capitolati dei Ministeri e della SIP più volte citati. Il fabbricante del cavo è tenuto ad eseguire una prova ad alta tensione sulla guaina termoplastica di tutte le pezzature, ap-

plicando a sua scelta, in relazione alle sue attrezzature, uno dei tre metodi seguenti, considerati equivalenti fra loro:

a) Prova di esplorazione con elettrodo, a secco (conosciuta come «spark test») - Si fa scorrere il cavo durante o dopo l'estrusione della guaina plastica entro un elettrodo che applica una tensione (generalmente a 50 Hz) su tutta la superficie della guaina, mentre la sottostante guaina metallica è connessa a terra: il valore efficace della tensione di prova è commisurato allo spessore della guaina e alla velocità di avanzamento del cavo (generalmente è di $5 \div 6$ kV per mm di spessore, ma non superiore complessivamente a 15 kV).

b) Prova del cavo in bobina, a secco - Questo metodo è applicabile solo dopo aver reso conduttrice la superficie della guaina termoplastica, per es. con un velo di grafite: la tensione di prova viene applicata tra la guaina metallica del cavo e tale velo di grafite, il quale, opportunamente collegato, costituisce l'elettrodo di terra; si usa tensione continua il cui valore è normalmente $2,5 s + 5$ kV (dove s = spessore della guaina in mm) e per una durata di 60 secondi.

c) Prova del cavo in bobina, in acqua - La tensione di prova viene applicata tra la guaina metallica e l'acqua nella quale la bobina deve essere immersa da almeno due ore: la tensione di prova è generalmente come nel caso *b*) se si usa una tensione continua, oppure metà circa dei valori stessi se si usa tensione alternata; la durata può essere di uno o due minuti.

4.6.03.3. - *Controlli di manutenzione*

Le misure e prove di cui alle alinee precedenti vengono eseguite sui cavi nuovi, prima della loro uscita dalla fabbrica. Spetta al proprietario del cavo, dopo la sua posa nel terreno o altrove, di assicurarsi che la guaina termoplastica mantenga un sufficiente isolamento verso terra durante tutta la vita del cavo (che si misura a decenni), isolamento dal quale dipende,

come si è detto, l'azione protettiva contro le corrosioni.

Poiché non è escluso che durante le operazioni di posa la guaina plastica subisca qualche danneggiamento meccanico (specialmente se la posa avviene a bassa temperatura ambiente), si prescrive talvolta, specialmente nel caso di cavi ad alta tensione, di eseguire una prova di tensione prima di chiudere completamente la trincea e comunque dopo l'ultimazione della posa.

Una prova di tensione o di resistenza d'isolamento (per es. con un «Megger») si può fare su un'intera linea in cavo, naturalmente solo se anche i giunti sono isolati. Effettivamente si richiede, in generale, che anche gli involucri metallici dei giunti dei cavi siano isolati e a tale scopo si usano scatole di materiale sintetico (per es. poliestere rinforzato con fibre di vetro) riempite di miscela isolante, oppure involucri di PVC o di PE che vengono saldati alle guaine termoplastiche in modo da evitare soluzioni di continuità.

Nel caso che i giunti non siano isolati, essi possono costituire delle vie di entrata e uscita delle correnti vaganti: ciò non dà luogo a pericolo di corrosione delle guaine metalliche dei cavi che risultano percorse longitudinalmente dalle correnti vaganti se le guaine termoplastiche isolanti sono integre ed efficienti, ma gli involucri metallici dei giunti possono risultare corrosi.

Nel caso di lunghi cavi telefonici posati parallelamente alle linee ferroviarie elettrificate con corrente continua, e anche nel caso di altri importanti cavi telefonici o cavi d'energia ad alta tensione, si usa eseguire periodicamente (a distanza di mesi) un controllo della resistenza d'isolamento delle guaine termoplastiche verso terra. Si trova che con l'andar del tempo i valori della resistenza d'isolamento diminuiscono ma ciò non desta preoccupazioni se la diminuzione è graduale e uniforme.

Ciò che impone un intervento di localizzazione e riparazione è invece il verificarsi di abbassamenti anormali e non

estesi: essi dipendono in generale da lesioni meccaniche in singoli punti della guaina, ed in quei punti potrebbe verificarsi una intensa corrosione per l'uscita di correnti vaganti. Non di rado i «punti che non tengono» sono i giunti.

SEZIONE VII - PRESCRIZIONI TECNICHE PER UNA CORRETTA POSA IN OPERA DEI TUBI IN ACCIAIO

Per realizzare la protezione dalla corrosione (passiva ed attiva) in modo razionale ed economico delle condotte in acciaio si dovranno rispettare, sia nella progettazione che nella posa in opera, le seguenti prescrizioni tecniche.

4.7.01. - **Scelta del tracciato**

In fase di progetto si dovrà anzitutto studiare il tracciato delle condotte in modo da evitare, per quanto possibile, l'attraversamento di terreni particolarmente aggressivi o interessati da correnti disperse; per questo occorre evitare parallelismi ravvicinati ed incroci con ferrovie e tramvie elettrificate a c.c. e con tubazioni protette catodicamente.

4.7.02. - **Giunzioni fra tubi**

È necessario impiegare tubi con giunti saldati⁴ od a vite e manicotto; questi ultimi devono essere stretti a fondo in modo da assicurare il contatto metallico.

4.7.03. - **Rivestimento dei tubi**

Occorre prevedere per i tubi, in tutto il loro percorso interrato, un rivestimento di adeguata resistenza di isolamento

⁴ L'ormai corrente impiego delle giunzioni saldate ha permesso di adottare tracciati di tubazioni anche in zone franose.

(per tubi rivestiti in fabbrica danno ottimi risultati i rivestimenti in polietilene fuso ed i rivestimenti bituminosi; per tubi rivestiti in linea possono essere impiegati anche nastri o lamine in materia plastica adesivizzati). In particolare si ricorda che le derivazioni di utenze devono essere realizzate sempre con tubi dotati di rivestimento nei tratti interrati.

4.7.04. - **Distribuzione dei giunti isolanti**

È opportuno inserire i giunti isolanti:

— dove le tubazioni sono collegate ad altre condotte metalliche da non comprendere nel sistema di protezione (ad es. nude, di vecchia posa, ecc.) od a strutture metalliche a contatto diretto od indiretto con il terreno (ad es. stazioni di pompaggio, serbatoi, pozzi, ecc.);

— in corrispondenza di tutte le derivazioni (comprese quelle di utenze);

— in punti opportuni delle condotte allo scopo di regolare le correnti vaganti o di protezione: a titolo orientativo possono essere inseriti giunti isolanti in modo da dividere le tubazioni in tronchi lunghi $1 \div 3$ km per le condotte urbane e $2 \div 5$ km per le condotte extraurbane; la distribuzione di tali giunti deve essere comunque determinata da un esperto corrosionista.

4.7.05. - **Tipi di giunti isolanti**

Il tipo di giunto isolante (vedasi Cap. I-«Definizioni») deve essere scelto in modo che esso risulti anche idoneo per le sollecitazioni cui è soggetta la tubazione in esercizio.

I giunti isolanti più comunemente usati sono:

- 1) del tipo a flangia (vedasi fig. IV-1);
- 2) del tipo a bicchiere prefabbricato (vedasi fig. IV-2);
- 3) del tipo a tronchetto o rocchetto ebanitato (vedasi fig. IV-3);

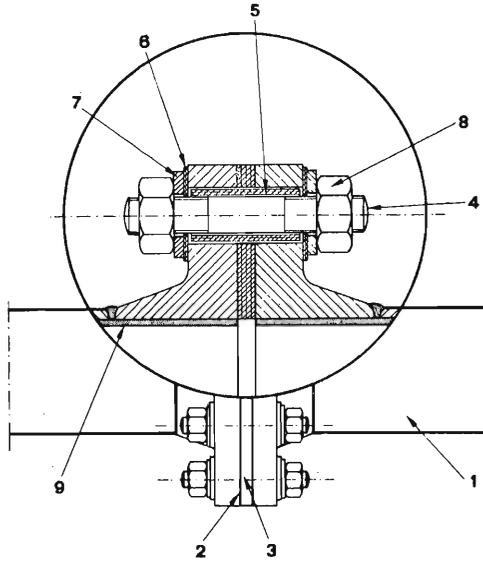


FIG. IV-1 - Giunto a flangia.

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1) Condotta; | 6) Rondella isolante; |
| 2) Flangia; | 7) Rondella metallica; |
| 3) Disco di materiale isolante; | 8) Dado; |
| 4) Tirante; | 9) Strato isolante nel caso di fluidi conduttivi. |
| 5) Manicotto isolante; | |

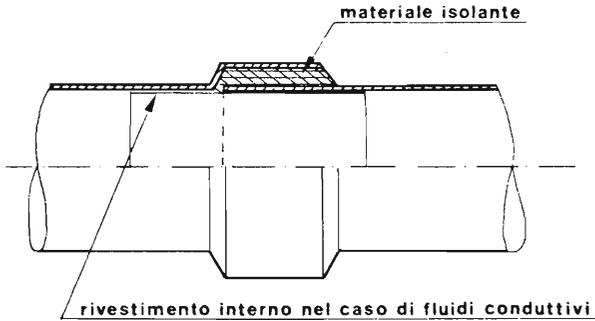


FIG. IV-2 - Giunto isolante a bicchiere prefabbricato.

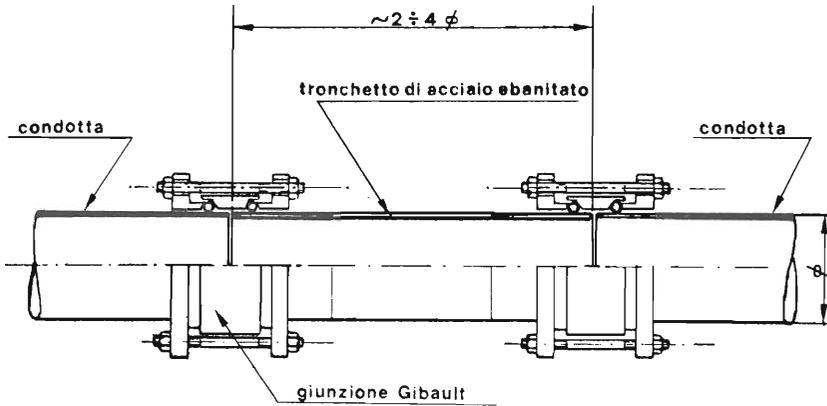


FIG. IV-3 - Giunto isolante con tronchetto ebanitato.

4) del tipo con tronchetti di materiale plastico o altro materiale non metallico.

Sulla forma dei giunti e sui materiali di cui essi sono costituiti nessuna specifica viene imposta, salvo particolari esigenze specie in riferimento a norme di legge.

Il giunto viene individuato dal tipo di inserzione e dalla pressione di esercizio.

Tipo di inserzione

Tipo A - con ambedue le estremità predisposte per saldatura di testa;

Tipo B - con una estremità predisposta per saldatura e l'altra estremità munita di flangia;

Tipo C - con ambedue le estremità munite di flangia;

Tipo D - con ambedue le estremità tornite per la inserzione con giunti di accoppiamento del tipo Gibault.

Le flange di cui ai tipi B e C dovranno essere idonee per le pressioni di esercizio e presentare la foratura che sarà precisata volta per volta.

Pressione di esercizio

Per quanto concerne le pressioni di esercizio i giunti saranno:

Tipo PN 10 - per pressioni di esercizio fino a 10 kg/cm²

Tipo PN 16 - per pressioni di esercizio fino a 16 kg/cm²

Tipo PN 25 - per pressioni di esercizio fino a 25 kg/cm²

Tipo PN 40 - per pressioni di esercizio fino a 40 kg/cm²

Tipo PN 64 - per pressioni di esercizio fino a 64 kg/cm²

Tipo PN 100 - per pressioni di esercizio fino a 100 kg/cm²

(Le sigle PN derivano dalla espressione: pressione nominale).

4.7.06. - Modalità di installazione dei giunti

I giunti isolanti devono essere contenuti in manufatti edilizi od in camerette accessibili e drenate dalle acque di infiltrazione; se non è possibile mantenere le camerette sicuramente e costantemente asciutte e nel caso di giunti interrati, i giunti stessi devono essere opportunamente rivestiti per isolarli dall'ambiente, come indicato ad esempio al punto 4.7.07. I giunti isolanti sulle utenze (da realizzare sempre con tubi dotati di rivestimento isolante nei tratti interrati) devono essere montati possibilmente appena fuori dal terreno ed a circa 50 cm da esso (vedasi fig. IV-4) dove in genere la tubazione da rivestita diviene grezza o zincata, oppure in un piccolo manufatto situato in prossimità del muro del fabbricato (vedasi fig. IV-5), od anche all'interno del fabbricato dopo l'attraversamento del muro (vedasi fig. IV-6). È conveniente inserire nella tubazione il giunto isolante preventivamente preparato fuori opera.

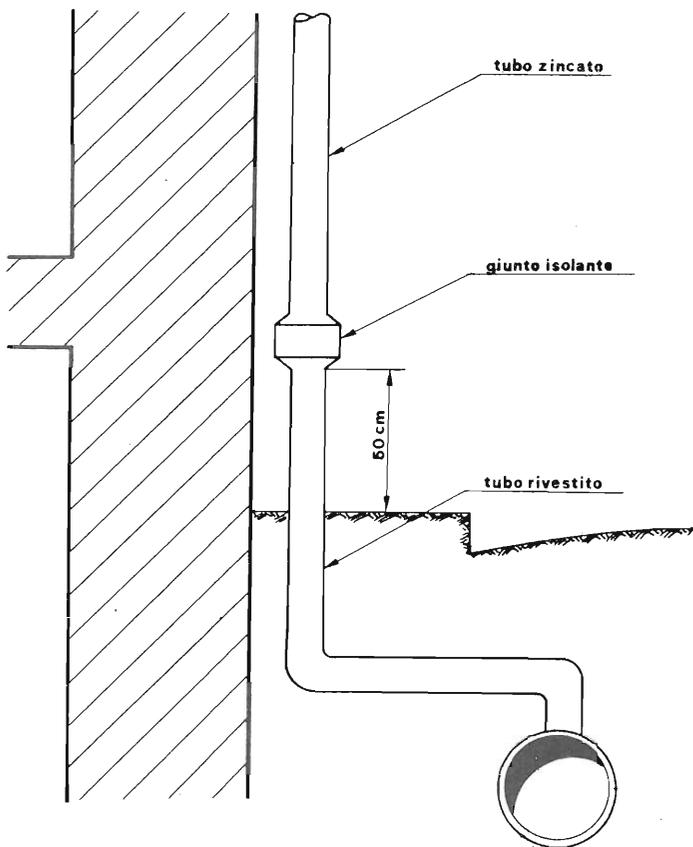


FIG. IV-4 - Giunto su derivazione di utenza installato fuori terra.

4.7.07. - Rivestimento in opera delle giunzioni dei tubi o di altre parti nude

Per rivestire accuratamente le zone di giunzione dei tubi e tutte le parti nude a diretto contatto con il terreno (sarcinesche tipo sottosuolo, staffe, collari, flange, pezzi speciali,

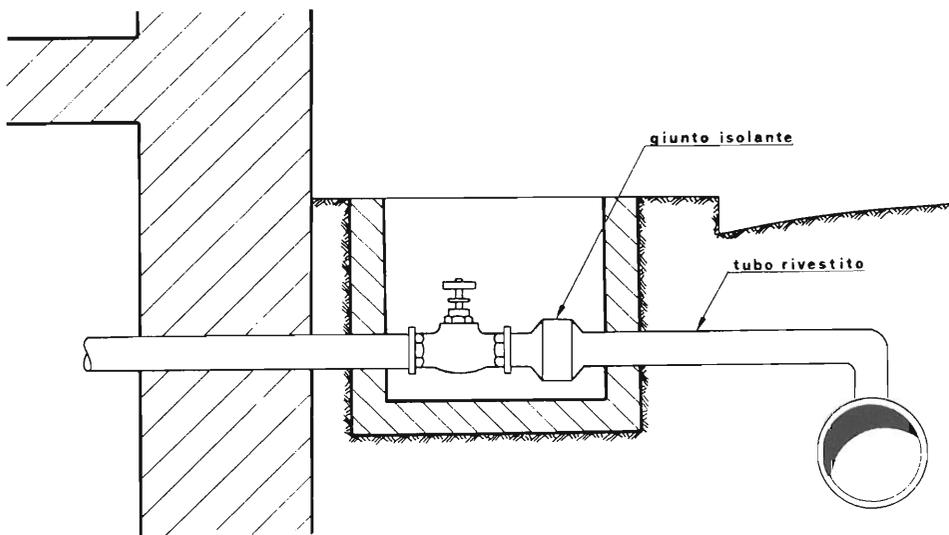


FIG. IV-5 - Giunto su derivazione di utenza in cameretta.

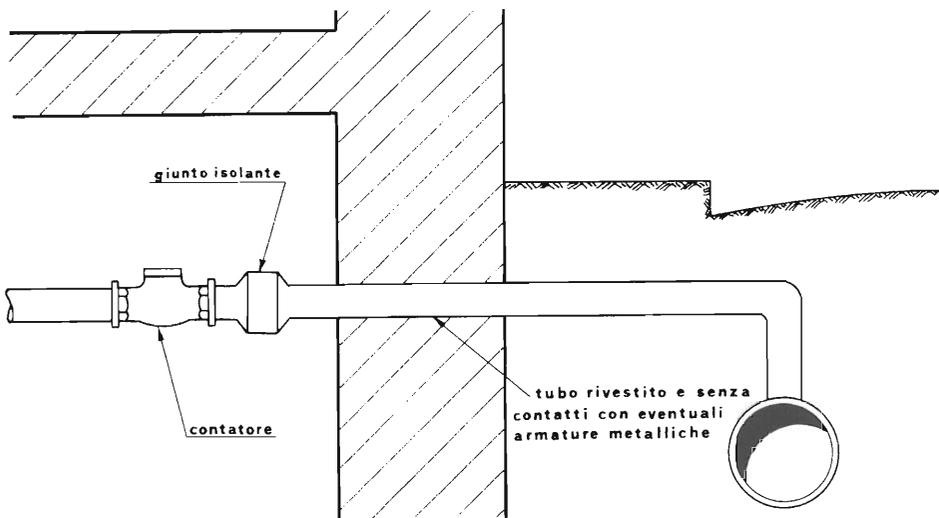


FIG. IV-6 - Giunto all'interno dei locali di utenza.

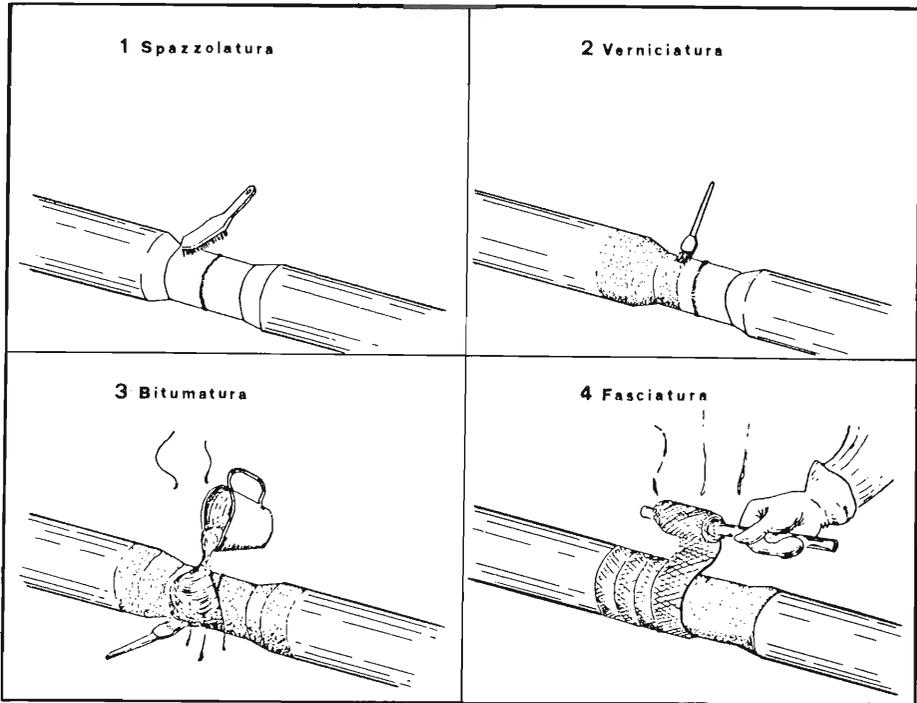


FIG. IV-7 - Rivestimento di giunzione.

gruppi di prova, ecc.) è consigliabile adottare la tecnica seguente (vedasi fig. IV-7), valida specialmente per tubi con rivestimento bituminoso:

— sulle estremità del rivestimento ^{applicato} in fabbrica realizzare, con opportuno utensile, un invito a becco di flauto;

— pulire a fondo la superficie da rivestire con spazzola metallica in modo che risulti esente da polvere, terra, scorie di saldatura, ecc.. Una accurata pulizia deve essere effettuata anche su un tratto di $10 \div 15$ cm del rivestimento esistente sui tubi nelle parti adiacenti;

— applicare sulle parti sopra indicate, rese pulite ed asciutte, almeno una mano di vernice bituminosa;

— applicare, dopo che la pellicola di vernice è ben essicata, uno strato di bitume fuso dello spessore di almeno 2 mm; l'operazione va eseguita versando il bitume con un mestolo nella parte superiore e spalmandolo con un tampone od una spatola od altro idoneo sistema in quella inferiore;

— controllare con un rivelatore a scintilla, tarato per una tensione di $10 \div 15$ kV, lo strato di bitume e ripristinare la sua continuità nei punti di scarica;

— eseguire una fasciatura in doppio strato con tessuto di fibra di vetro imbevuto di bitume a caldo, sovrapponendo la fasciatura al rivestimento preesistente per almeno 15 cm.

4.7.08. - **Interramento delle condotte**

Il fondo dello scavo deve essere regolarizzato con semplice spianamento se il terreno è sciolto, ovvero disponendo uno strato di terra se il fondo è roccioso. La rincalzatura e la copertura dei tubi per almeno 10 cm di altezza, deve essere eseguita con terra sciolta priva di pietre grosse od aguzze. La nicchia eseguita per permettere l'agevole saldatura della giunzione dei tubi di medio e di grosso diametro entro lo scavo, permetterà anche l'esecuzione di un efficiente rivestimento sulla giunzione stessa.

4.7.09. - **Installazione degli organi di manovra**

Collocare gli organi di manovra (saracinesche, scarichi, sfiati, gruppi per la prova di pressione, ecc.) privi di rivestimento in camerette accessibili e drenate dalle acque di infiltrazione in modo che non siano a contatto con acqua o terra: se ciò non è possibile bisognerà rivestirli come indicato all'alinea 4.7.07. Si ritiene consigliabile, in questa circostanza, eseguire le varie operazioni sul corpo dell'organo

di manovra prima della sua inserzione e successivamente sulla flangia in opera. Si devono interporre lastre di materiale isolante fra gli organi di manovra ed eventuali appoggi.

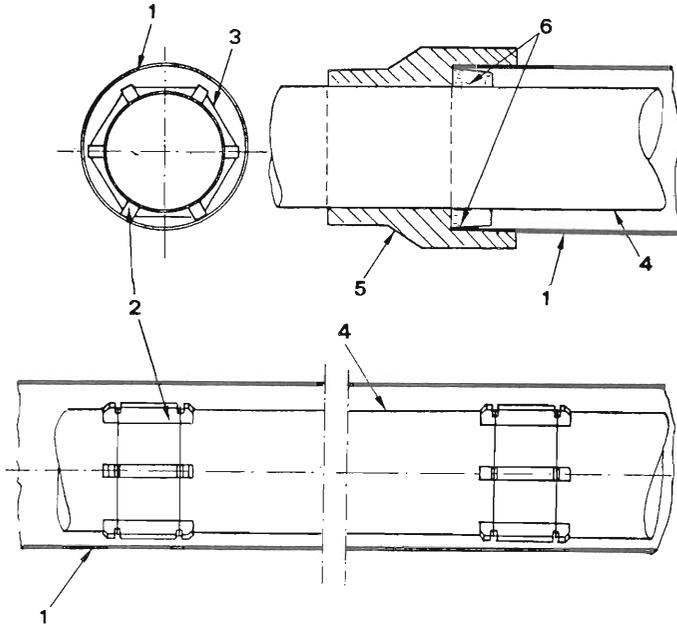


FIG. IV-8 - Condotta protetta da tubo guaina.

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1) Tubo guaina; | 5) Sistema per la chiusura a tenuta |
| 2) Tasselli; | delle estremità della guaina; |
| 3) Filo non metallico (es. nylon); | 6) Zeppe. |
| 4) Condotta; | |

4.7.10. - Tubi-guaina

Le condotte devono essere elettricamente isolate dai tubi-guaina (ad es. negli attraversamenti stradali e ferroviari) inserendo zeppe e tasselli di materiale isolante e meccanicamente resistente (escluso il legno) rispettivamente alle estremità del tubo-guaina e nell'intercapedine fra condotta e tubo-guaina (vedasi fig. IV-8); si ritiene opportuno impiegare tubi-

guaina dotati di adeguato rivestimento esterno in tutti i casi in cui ciò sarà possibile.

4.7.11. - Tubi di sfiato

I tubi di sfiato dei tubi-guaina devono essere rivestiti e posati in modo da non avere contatti metallici con le condotte.

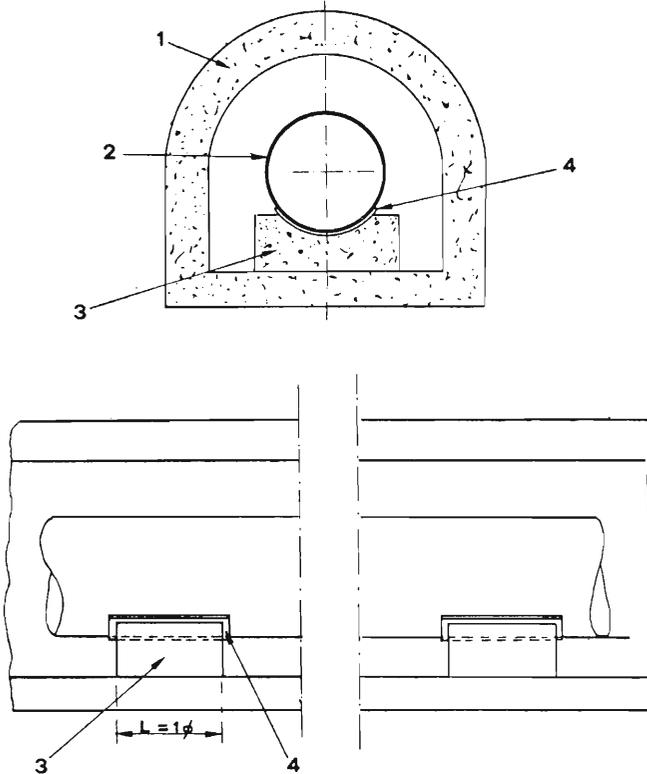


FIG. IV-9 - Condotta in cunicolo.

- | | |
|--------------|----------------------------------|
| 1) Cunicolo; | 3) Selletta in cemento; |
| 2) Condotta; | 4) Lastra di materiale isolante. |

4.7.12 - Sostegni in calcestruzzo per condotte aeree

Fra le condotte e le sellette di appoggio devono essere interposte lastre o guaine di materiale dielettrico (ad es. gomma telata, PVC, ecc.) sia nei punti in cui la condotta è semplicemente appoggiata (vedasi fig. IV-9) sia in quelli in cui la condotta è ancorata ai sostegni (vedasi fig. IV-10).

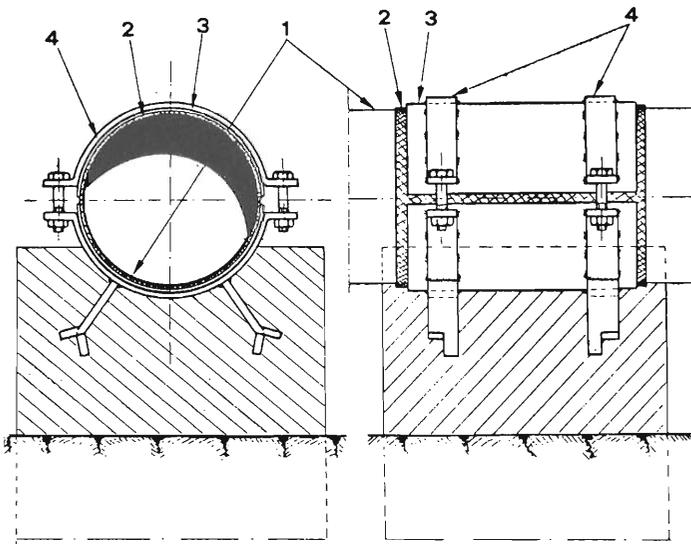


FIG. IV-10 - Condotta ancorata su sellette in calcestruzzo.

- 1) Condotta;
- 2) Materiale isolante;
- 3) Guaina di lamiera;
- 4) Collari.

4.7.13. - Rulli e mensole di appoggio

Le condotte devono essere elettricamente isolate dai rulli e loro guide o dalle mensole mediante manicotti o lastre di materiale dielettrico, ad es. PVC (vedasi fig. IV-11 e fig. IV-12).

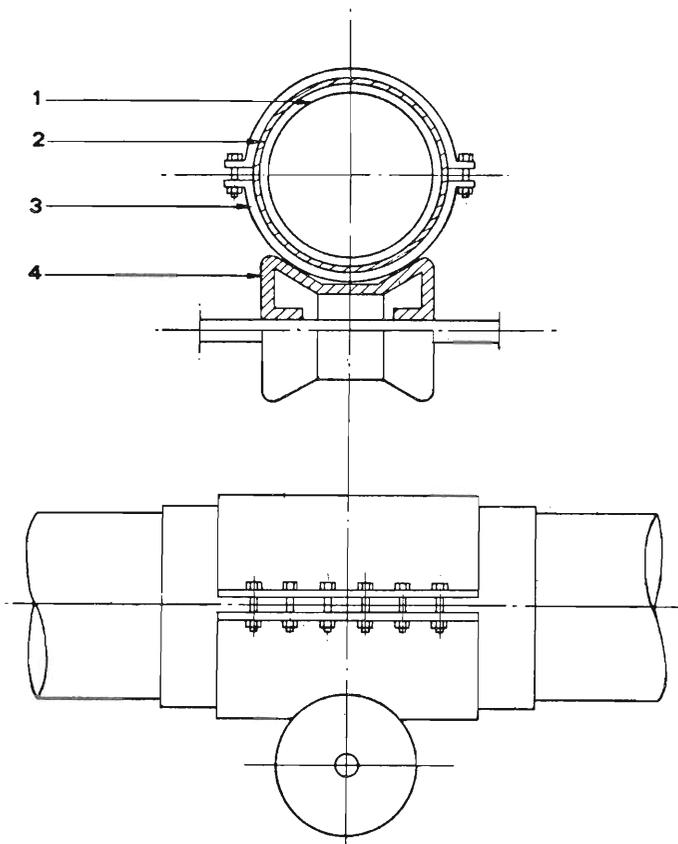


FIG. IV-11 - Particolari guaina isolante sui rulli.

- 1) Tubo;
- 2) Materiale isolante;
- 3) Collari;
- 4) Rullo.

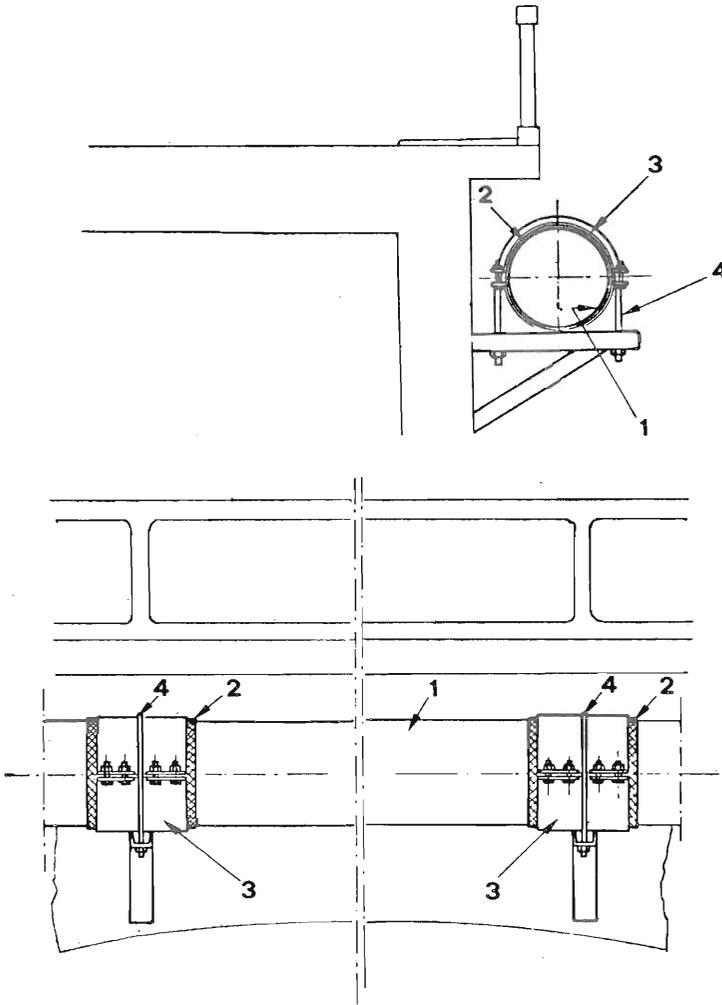


FIG. IV-12 - Condotta ancorata alla fiancata di un ponte.

- 1) Condotta;
- 2) Materiale isolante;
- 3) Guaina di lamiera;
- 4) Collari.

4.7.14. - **Attraversamenti di pareti, blocchi di ancoraggio o briglie in calcestruzzo**

In questi punti si deve conservare il rivestimento protettivo e tenere una distanza di almeno 10 cm tra gli eventuali ferri di armatura e le tubazioni in acciaio; qualora la tenuta e l'ancoraggio debbano essere comunque realizzati, si può ricorrere a corniere che devono essere protette con vernici isolanti adatte (ad es. epossidiche), mentre il rivestimento del tubo dovrà essere rinforzato (vedasi fig. IV-13).

4.7.15. - **Parallelismi ed incroci con altre strutture metalliche interrate**

Nel caso si abbiano parallelismi od incroci con altre strutture metalliche interrate si deve mantenere la massima distanza possibile da esse, rispettando i seguenti valori minimi:

- per i parallelismi: cm 100 per strutture urbane
cm 200 per strutture extraurbane
- per gli incroci: cm 30 per strutture urbane
cm 50 per strutture extraurbane.

Qualora non esista spazio sufficiente per rispettare i suddetti limiti relativi agli incroci si dovrà sempre provvedere all'interposizione di una lastra di materiale isolante e meccanicamente resistente (ad es. tele bakelizzate con spessore di 10 mm) in modo che non possa avvenire il contatto metallico fra le strutture anche in caso di assestamenti del terreno. Anche in caso di parallelismi particolarmente ravvicinati si dovranno inserire analoghe lastre isolanti. Specialmente quando non sia possibile osservare dette distanze, è necessario controllare la continuità del rivestimento con particolare cura (mediante il rivelatore a scintilla) e, nei casi di strutture di particolare interesse, eseguire sulla struttura in

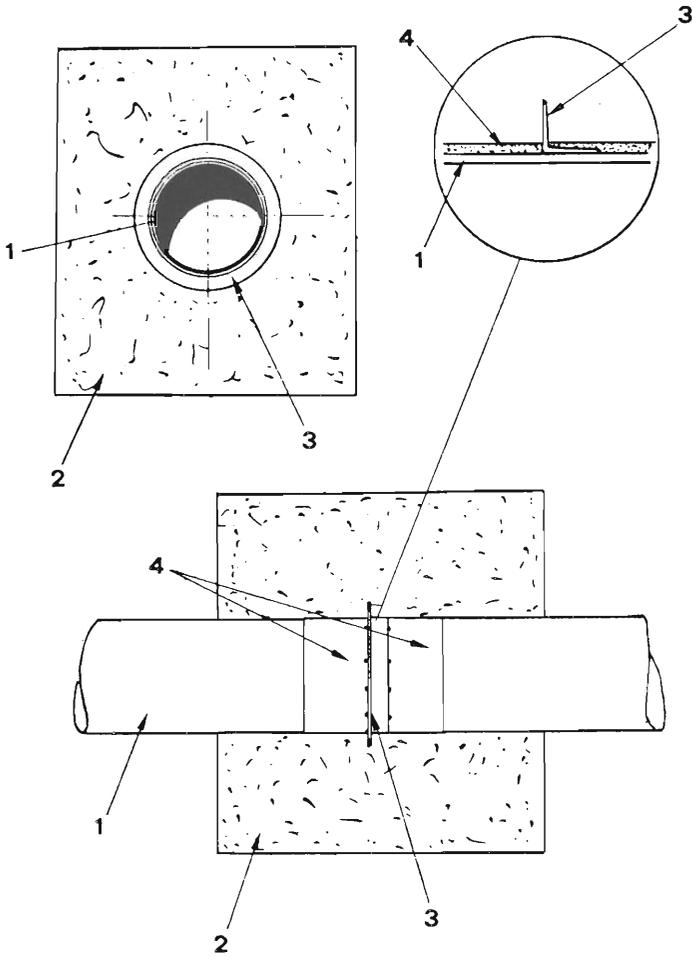


FIG. IV-13 - Isolamento delle corniere.

- 1) Condotta;
- 2) Cemento;
- 3) Corniera;
- 4) Zona con rivestimento applicato dopo la sistemazione della corniera.

fase di posa un rivestimento supplementare per tutta la lunghezza del parallelismo, o per m 10 a monte e m 10 a valle rispetto all'incrocio.

Si ricorda che nel caso di parallelismi od incroci, oltre le raccomandazioni sopra indicate, si rende necessaria l'osservanza delle norme vigenti in materia a seconda dei diversi tipi di strutture interessate (vedasi, ad es., Circolare n. 56 del 16-5-64 del Ministero degli Interni, Direzione Generale dei Servizi Antincendi e della Protezione Civile; Supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 221 del 6-9-1966, Decreto Ministeriale 12-7-1966: «Norme tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte di liquidi e gas con linee ferroviarie, tranviarie e con binari di raccordo»; Supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 132 del 26-5-1971, Decreto Ministeriale 23-2-1971: «Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie od altre linee di trasporto»).

4.7.16. - Collegamenti e derivazioni

Eseguire attacchi, derivazioni e utenze sulla condotta principale con giunzioni saldate od a vite e manicotto.

4.7.17. - Cavallotti

Cavallottare le discontinuità delle tubazioni metalliche interrate (ad es. organi di manovra e pezzi speciali inseriti con giunzioni non saldate e cioè giunti a flange, giunti piombati, giunti Gibault, ecc.) per mezzo di cavo di rame isolato con rivestimento in gomma e biprene od equivalente, adottando le seguenti sezioni:

— per diametri fino a 200 mm:	sez. 16 mm ²
— per diametri da 225 a 350 mm:	sez. 25 mm ²
— per diametri da 375 a 400 mm:	sez. 50 mm ²

- per diametri da 425 a 600 mm: sez. 63 mm²
- per diametri da 650 a 900 mm: sez. 100 mm² ⁽⁵⁾

Le saldature dei cavi sui tubi devono quindi essere opportunamente isolate dal terreno. Invece dei cavi di rame si possono usare tondini o piattine di ferro con sezione 10 volte superiore a quelle sopra indicate per i cavi di rame; in questo caso si devono rivestire, oltre che le saldature sui tubi, anche i tondini di ferro.

4.7.18. - Isolamento delle tubazioni in opera

La posa in opera dei tubi effettuata tenendo ben conto delle prescrizioni riportate nel presente capitolo e di altri accorgimenti da definire ed adottare a seconda delle condizioni locali, porterà al risultato di ottenere un buon valore di isolamento elettrico delle tubazioni rispetto all'ambiente circostante. Generalmente questo isolamento dovrà avere un valore non inferiore a 1000 $\Omega \cdot m^2$ misurandolo su un tronco di tubazione di lunghezza di almeno 500 m dopo due o tre anni dalla posa (vedasi 5.5.06. nota 17).

La misura della resistenza di isolamento potrà essere effettuata con i metodi descritti nel Cap. V - Sezione V ed è preferibile che il rilevamento venga eseguito dopo che il terreno si è completamente assestato (circa 6 mesi dopo l'interramento della tubazione).

⁵ I valori della sezione dei cavi di cavallottamento, che risultano elevati rispetto alle correnti che debbono essere normalmente convogliate, sono giustificati dalla opportunità di presentare una conducibilità longitudinale non eccessivamente inferiore a quella della tubazione.

SEZIONE VIII - PRESCRIZIONI TECNICHE PER UNA CORRETTA POSA IN OPERA DEI CAVI INTERRATI

Per realizzare la protezione dalla corrosione dei cavi sotterranei (passiva ed attiva) in modo razionale ed economico, è opportuno rispettare, sia nella progettazione che nella posa in opera, le prescrizioni tecniche esposte nel seguito.

4.8.01. - **Scelta del tracciato**

In fase di progetto si dovrà anzitutto studiare il tracciato dei cavi (e quindi anche degli eventuali manufatti sotterranei che dovranno contenerli) in modo da evitare, per quanto è possibile, l'attraversamento di terreni particolarmente aggressivi od interessati da correnti disperse: quindi è opportuno evitare, ad esempio, parallelismi ravvicinati ed incroci con ferrovie e tranvie elettrificate a c.c. e con condutture sotterranee protette catodicamente. È anche necessario evitare l'attraversamento di terreni franosi.

4.8.02. - **Rivestimenti dei cavi**

Occorre prevedere un rivestimento di adeguata resistenza d'isolamento; a tale scopo si usano normalmente cavi con rivestimento protettivo di materiale termoplastico applicato in fabbrica sulla guaina di piombo. Trovandosi nella necessità di impiegare dei cavi di vecchia costruzione, non provvisti di guaina protettiva, in zone dove si abbiano a temere fenomeni di corrosione, la posa di tali cavi può essere effettuata solo in trincea, sistemandoli in cassetta di legno con catrame, oppure con sabbia di fiume se il cavo è stato preventivamente fasciato con nastri adesivi.

4.8.03. - Curvature dei cavi

Durante le operazioni di posa i cavi debbono essere sagomati in modo che in nessun punto il raggio minimo di curvatura sia inferiore a un certo valore R .

Se si tratta di cavi elettrici, il raggio minimo di curvatura deve essere:

- 1) per cavi con guaina di piombo o di alluminio corrugato;

$$R = 10(D + d)$$

dove D (in mm) è il diametro esterno della guaina metallica mentre d (in mm) è il diametro di un conduttore.

2) per cavi con guaina d'alluminio liscia il raggio minimo deve essere non inferiore al massimo valore ottenuto con le formule:

$$R_1 = 10(D + d) \quad (\text{vedasi caso precedente})$$

$$R_2 = 15D$$

Se si tratta di cavi telefonici, il raggio minimo di curvatura, nelle operazioni di posa, deve essere:

$$R = 5D \quad \text{per} \quad D \leq 15 \text{ mm}$$

$$R = 8D \quad \text{per} \quad 15 < D < 50 \text{ mm}$$

$$R = 12D \quad \text{per} \quad D \geq 50 \text{ mm,}$$

mentre nella sistemazione definitiva deve essere:

$$R = 4D \quad \text{per} \quad D \leq 15 \text{ mm}$$

$$R = 6D \quad \text{per} \quad 15 < D < 50 \text{ mm}$$

$$R = 10D \quad \text{per} \quad D \geq 50 \text{ mm}$$

ove D è il diametro esterno misurato sul rivestimento.

Sempre nel caso di cavi telefonici, è pure opportuno che durante le operazioni di trasporto il raggio del tamburo della bobina non sia inferiore a $20 D$.

4.8.04. - **Distribuzione dei giunti isolanti**

È opportuno inserire i giunti isolanti nei seguenti casi:

— dove i cavi si collegano ad altri da non comprendere nel sistema di protezione catodica (ad es. cavi nudi o cavi di vecchia posa il cui isolamento è in cattive condizioni, ecc.);

— dove i cavi si collegano a strutture metalliche in diretto contatto con il terreno;

— in punti opportuni delle reti in cavo, allo scopo di regolare le correnti longitudinali lungo le guaine, siano esse correnti disperse o di protezione; ad esempio, è sempre consigliabile inserire giunti isolanti del tipo opportuno lungo il percorso dei cavi molto lunghi (come ad esempio i cavi telefonici interurbani). La distribuzione di tali giunti va esaminata di volta in volta da un esperto corrosionista.

4.8.05. - **Tipi di giunti isolanti**

I giunti isolanti devono costituire una interruzione della continuità metallica della guaina del cavo e contemporaneamente garantire la perfetta tenuta di questa all'umidità ambiente, ad evitare disservizi provocati da basso isolamento dei circuiti contenuti nel cavo. I giunti isolanti usati comunemente sui cavi telefonici sono:

- 1) del tipo ad anello prefabbricato (vedasi fig. IV-14);
- 2) del tipo ad anello da costruire in opera;
- 3) del tipo a bicchiere con miscela isolante o resina epossidica (vedasi fig. IV-15).

Quest'ultimo tipo di giunto dovrà essere costruito in luogo molto asciutto.

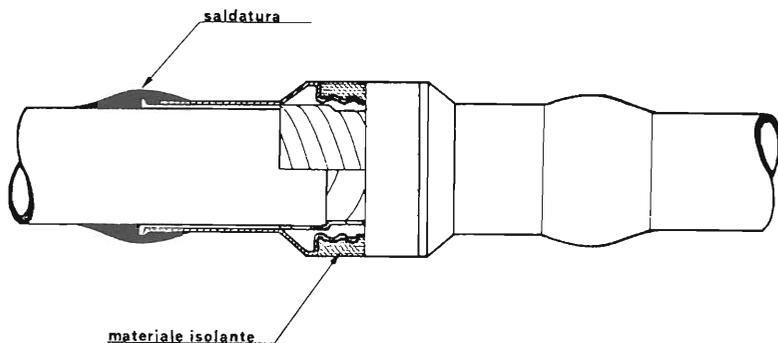


FIG. IV-14 - Giunto del tipo ad anello prefabbricato.

4.8.06 - Modalità di esecuzione dei giunti isolanti

Il giunto n. 1 del paragrafo precedente può venire impiegato all'atto della posa del cavo, dato che quest'ultimo deve essere infilato nel suo interno; lo si trova quindi realizzato presso le giunzioni dei cavi.

I giunti n. 2 e 3 possono essere realizzati anche su cavi già posati e possono trovarsi in qualunque punto del percorso: per quanto possibile è bene che vengano sempre realizzati presso le giunzioni allo scopo di non deprezzare troppo le pezzature di cavo che potrebbero, in futuro, venire recuperate e posate nuovamente in un altro impianto.

I giunti isolanti dovranno sempre essere realizzati in manufatti edilizi (camerette delle tubazioni o cunicoli) accessibili e, di regola, dovranno essere posti in un punto che non venga raggiunto dalle acque di infiltrazione; se ciò non è possibile dovranno essere ricoperti con nastri adesivi isolanti ad evitare che l'acqua, cavallottando le due guaine, renda

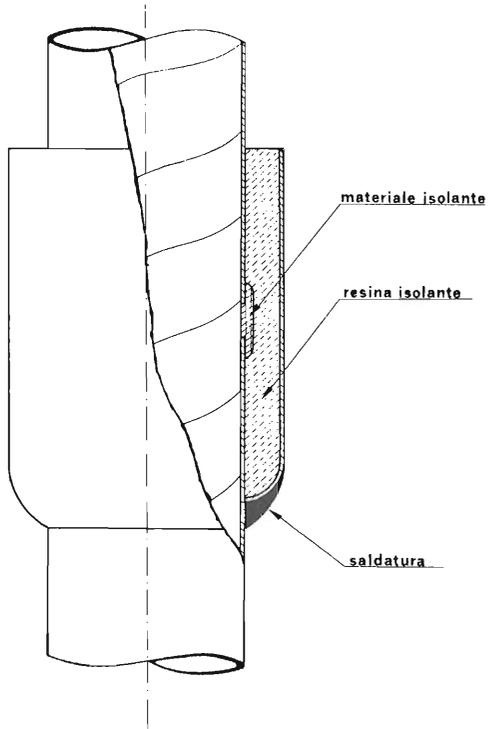


FIG. IV-15 - Giunto isolante del tipo a bicchiere con miscela isolante o resina epossidica.

inefficace il giunto stesso. Dovendo realizzare un giunto isolante su di un cavo in trincea, è indispensabile provvedere sempre al suo isolamento dall'ambiente con nastri adesivi o con bitume per lo stesso motivo di cui sopra.

Si osserva infine che la realizzazione di giunti isolanti su cavi esistenti va esaminata in relazione allo stato d'isolamento della guaina del cavo: se il cavo è del tipo in piombo nudo, od è comunque scarsamente isolato, l'effetto del giunto isolante si potrà rivelare dannoso in quanto esso sarà facilmente superato dalla corrente longitudinale che percorre la guaina, dando luogo così ad una ulteriore zona anodica.

4.8.07. - **Costruzione delle tubazioni per la posa dei cavi**

Nella costruzione di tubazioni per la posa di cavi è consigliabile usare sempre tubi di materiale isolante (plastica, eternit). Qualora si sia costretti ad usare tubi metallici, si dovranno poi utilizzare esclusivamente cavi con rivestimento termoplastico. Dovranno inoltre essere adottate tutte quelle misure tecniche atte a preservare il più possibile la impermeabilità del manufatto.

4.8.08. - **Rotazione dei cavi**

Nelle terne di cavi elettrici unipolari molto lunghi si deve avere cura di effettuare la rotazione delle fasi in corrispondenza delle giunzioni allo scopo di assicurare correnti di circolazione praticamente uguali nelle guaine di piombo; le correnti di circolazione derivano dal fatto che, per motivi di sicurezza, i tre tubi di piombo sono collegati fra loro in corto circuito e messi saldamente a terra (20Ω) in corrispondenza delle estremità e, di solito, in corrispondenza di ogni giunto.

4.8.09. - **Posa dei cavi sotterranei**

La posa del cavo, la sua sistemazione all'interno delle camerette e dei cunicoli, l'eventuale rinterro, debbono essere eseguiti attuando tutte le precauzioni necessarie ad evitare danni al cavo stesso: è infatti indispensabile che la guaina di piombo, il rivestimento termoplastico e le eventuali armature metalliche del cavo restino perfettamente integre. È opportuno che le operazioni di posa non vengano eseguite a bassa temperatura (per i cavi elettrici, le norme C.E.I. pongono come limite minimo $+ 3^\circ\text{C}$).

4.8.10 - Giunzioni dei cavi - Continuità metallica

La continuità metallica della guaina in piombo del cavo, nelle giunzioni delle varie pezzature, è assicurata dalla saldatura della muffola di rame o di piombo alle due estremità sulle guaine dei cavi giuntati (vedasi fig. IV-16 *a* e *b*). Se il cavo è del tipo armato, oltre alla continuità della guaina di piombo viene ricostituita anche la continuità dell'armatura (nastri di acciaio) mediante un cavallotto, con treccia di rame isolata (di sezione minima di 2 mm^2), i cui estremi vengono saldati nei punti di interruzione di questa (vedasi fig. IV-17).

I giunti dei cavi elettrici possono essere racchiusi in un involucro esterno di ghisa, avente essenzialmente lo scopo di protezione meccanica; la tenuta ermetica dell'involucro di ghisa, che viene riempito di miscela isolante, è assicurata da opportune guarnizioni (cavi elettrici e telefonici interurbani).

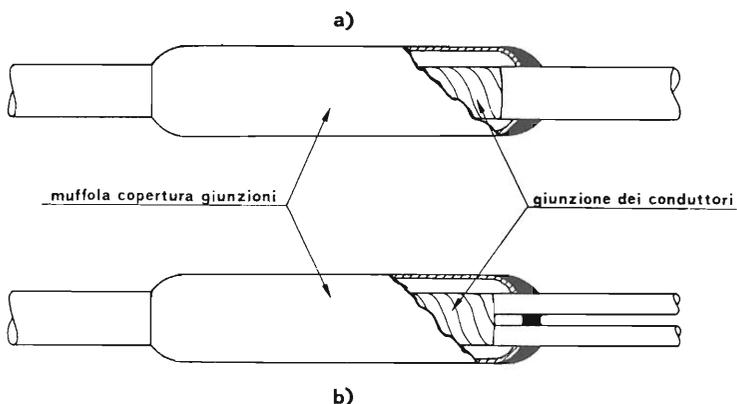


FIG. IV-16 - Esempio di giunzione di cavi telefonici.

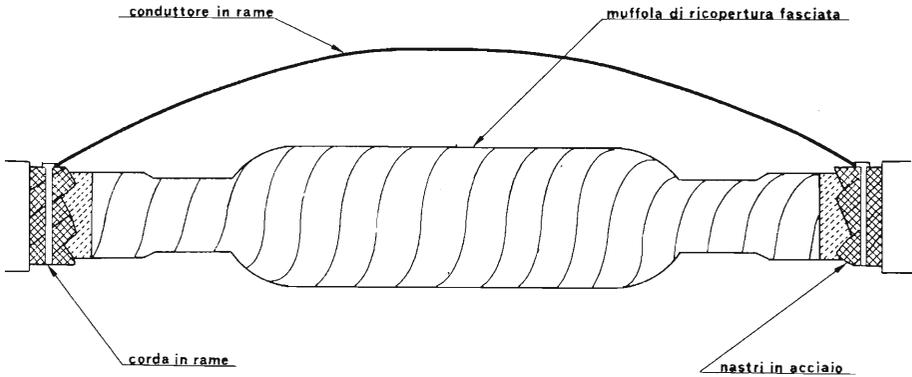


FIG. IV-17 - Cavo armato.

4.8.11. - Rivestimento in opera dei giunti

La guaina termoplastica dei cavi deve sempre essere ricostruita in corrispondenza dei giunti. Tale rivestimento deve ripristinare le caratteristiche di isolamento ed impermeabilità della guaina protettiva che si è asportata per poter eseguire la giunzione dei cavi.

Le operazioni di rivestimento dei giunti devono essere eseguite molto accuratamente in modo da assicurare un buon isolamento dall'ambiente circostante.

I giunti si dividono in dritti e diramati, a seconda che i cavi giuntati siano in numero di due oppure in numero maggiore. Nella fig. IV-16 sono indicati come esempio i due tipi di giunti telefonici eseguiti su cavi con guaina di piombo.

a) Giunti dritti - Prima di eseguire il rivestimento si deve pulire a fondo la superficie della muffola, ponendo particolare cura nell'asportare le tracce di stearina rimaste a seguito della saldatura (la stearina favorisce lo svilupparsi di colonie batteriche). Si passa quindi al rivestimento che

viene normalmente eseguito con l'applicazione di due strati di nastro adesivo plastico, sovrapposti per il 50% della loro larghezza ed avvolti uno in senso contrario all'altro; ogni strato di nastro viene avvolto fino a sovrapporsi per 5-10 cm sui bordi delle guaine termoplastiche (figura IV-18). Durante l'applicazione del nastro si deve avere molta cura affinché questo aderisca uniformemente alla superficie da ricoprire; particolare attenzione deve essere posta sulle estremità delle muffole coprigiunto, le quali, non essendo cilindriche, male si prestano alle operazioni di ricopertura.

b) Giunti diramati - Il rivestimento totale con nastri adesivi su questo tipo di giunti non protegge completamente contro le corrosioni, poiché il nastro non aderisce adeguatamente sulla superficie delle biforcazioni e pertanto non offre garanzie adeguate contro l'infiltrazione di acque aggressive. L'uso del nastro deve quindi essere integrato con l'impiego di altri materiali (ad esempio vernici adatte, mastici, ecc.).

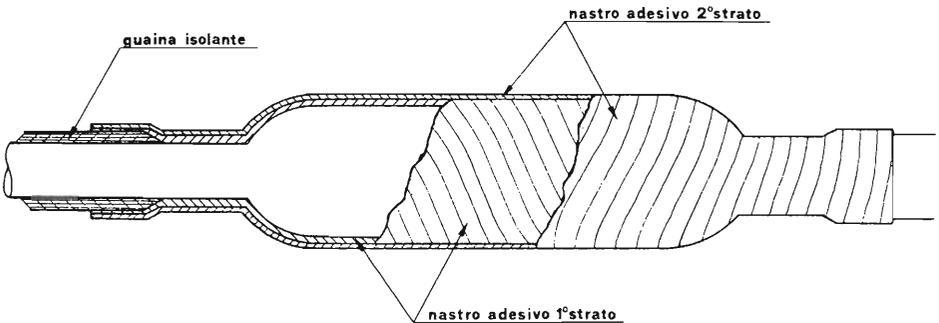


FIG. IV-18 - Giunto diritto.

4.8.12. - **Rivestimenti di cavi nudi in opera**

Sui cavi già in opera, sprovvisti di guaina termoplastica, può essere conveniente eseguire delle operazioni di fasciatura su quelle parti che sono più esposte ad attacchi corrosivi, come ad esempio:

- giunti (applicando le tecniche precedenti);
- parti di cavo sorrette da appoggi nelle camerette o nei cunicoli.

4.8.13. - **Mensole di appoggio**

I cavi sotterranei debbono essere elettricamente isolati dai loro appoggi e guide metalliche, perciò si interpongono dei cuscinetti di materiale isolante fra il cavo e le mensole di appoggio nelle camerette delle tubazioni (vedasi fig. IV-19).

4.8.14. - **Ingresso in canalizzazione di un cavo in trincea**

In questo caso si deve conservare il rivestimento protettivo del cavo. Per evitare l'infiltrazione dell'acqua nelle camerette o nei cunicoli è indispensabile realizzare un tampone che chiuda l'intercapedine fra il cavo ed il tubo di attraversamento della parete (vedasi l'esempio di fig. IV-20).

4.8.15. - **Parallelismi ed incroci con altre strutture metalliche interrate**

Nel caso si abbiano parallelismi ed incroci con altre strutture metalliche interrate, si deve mantenere la massima distanza possibile da esse; le distanze minime che si debbono comunque rispettare sono fissate dalle seguenti norme:

- norme C.E.I., fascicolo n. 206 del 1965 e supplemento S/284 del 1966, articoli 5.3.01. e 5.3.02.

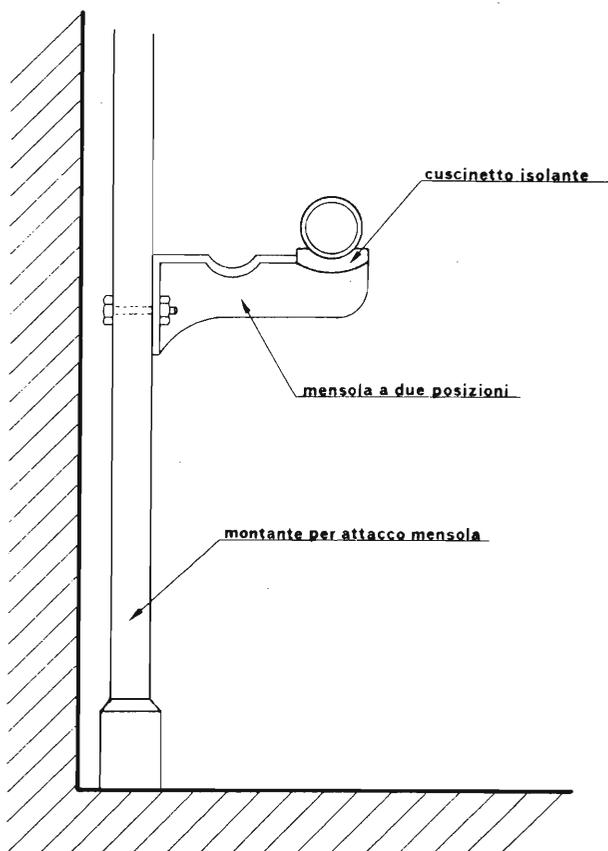


FIG. IV-19 - Esempio di mensola di appoggio.

— Circolare del Ministero delle Poste e delle Telecomunicazioni L.C.I. 7710/3200 del 30-6-69.

Tali norme sono qui di seguito riassunte *ed integrate da ulteriori*
specificazioni:

a) **Incroci fra cavi di energia e cavi di telecomunicazioni** - La distanza minima fra le generatrici esterne dei due cavi non deve essere inferiore a 0,5 m.

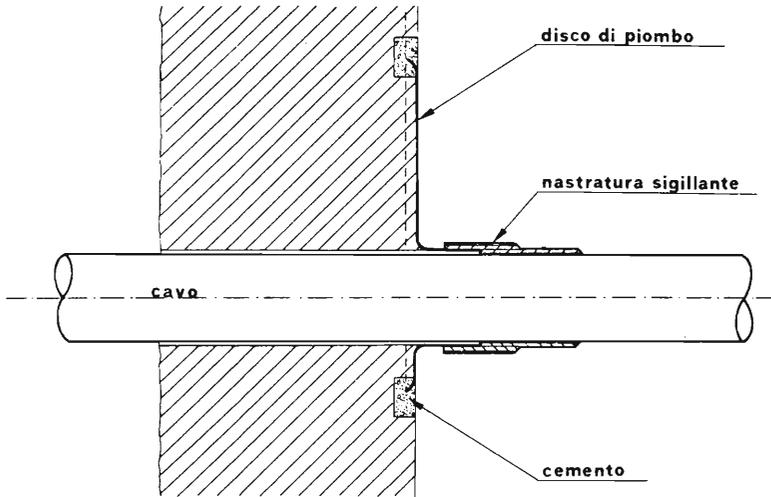


FIG. IV-20 - Ingresso in canalizzazione (per cavi non armati)..

Il cavo sovrastante, che di norma deve essere quello telefonico, deve essere protetto con una cassetta o tubazione di ferro avente spessore non inferiore a 2 mm, protetta contro le corrosioni con un rivestimento di calcestruzzo di almeno 4 cm di spessore, applicato a diretto contatto del metallo, e trattata internamente con vernice antiruggine.

La cassetta o tubazione anzidetta deve avere lunghezza *mm inferiore* di 1 m e comunque tale da garantire che la distanza fra le generatrici esterne dei cavi, nei punti non protetti, sia maggiore delle distanze minime stabilite nel successivo punto b) e misurate in proiezione orizzontale.

In caso di impossibilità a rispettare la distanza di cui sopra, deve essere applicata una protezione analoga anche al cavo di energia: in ogni caso la distanza minima ammessa fra le citate protezioni non deve essere inferiore a 0,10 m. Su entrambi i cavi non si debbono avere giunti nel punto d'in-

crocio; in particolare sul cavo di energia non vi debbono essere giunti a distanza inferiore ad 1 m dal punto di incrocio.

b) Parallelismi fra cavi di energia e cavi di telecomunicazioni - Nei parallelismi detti cavi devono essere posati alla maggiore distanza possibile tra loro e, se sono nella stessa strada, dovranno di norma essere posati ai lati opposti di questa.

Nei casi in cui, per impedimenti tecnici di rilievo, non ci si possa attenere a quanto sopra, può tollerarsi una distanza minima, in proiezione su un piano orizzontale, tra i punti più vicini delle generatrici dei cavi non inferiore a:

- 0,50 m per i cavi di tipo interurbano;
- 0,30 m per i cavi di tipo urbano.

Tale distanza può essere portata ad un minimo di 0,15 m a condizione che il cavo di energia sia facilmente individuabile e efficacemente protetto con cassette o tubazioni di ferro dello stesso tipo descritto al punto a).

Anche per i cavi interurbani si deve adottare la suddetta protezione.

I dispositivi sopra descritti possono essere omessi quando, essendo rispettata la distanza minima di 0,15 m, il cavo di energia si trova a una quota inferiore di 0,50 m rispetto a quella del cavo di telecomunicazione. Nel caso di cunicoli praticabili, i cavi di energia e di telecomunicazione vanno posati su mensole distinte e, in tutti i casi in cui è possibile, anche su pareti distinte. Nel caso di canalizzazioni tali cavi vanno infilati in fori distinti; quest'ultimo caso è però, per quanto possibile, da evitare. In ogni caso è da evitare ogni possibilità di contatto diretto tra cavi. I criteri sopra esposti sono da ritenersi validi solamente se è soddisfatta la condizione che la f.e.m. longitudinale indotta sul cavo di telecomunicazione, in caso di guasti sul cavo di energia, non superi i valori prescritti dalle Direttive del Comitato Consultivo Internazionale Telegrafico e Telefonico.

c) Attraversamenti fra i cavi telefonici e metanodotti - Valgono le Norme di cui al punto *a*).

d) Parallelismi fra cavi telefonici e metanodotti - Valgono le Norme di cui al punto *b*).

4.8.16. - Distanza dai dispersori di terra di impianti elettrici

Nel caso in cui il cavo debba essere posato in prossimità di prese di terra di impianti elettrici, è necessario osservare la massima distanza possibile da queste; le distanze minime che si debbono comunque osservare sono fissate dalla circolare LCI/45305/3200 dell'8-1-68 del Ministero delle Poste e delle Telecomunicazioni, al capitolo D «Accoppiamenti Galvanici», che prescrive:

a) Cavi con guaina metallica nuda o muniti di rivestimenti a base di juta impregnata o comunque non muniti di rivestimento isolante:

— 5 m dai dispersori di impianti di terra dei sostegni di elettrodotti a tensione > 100 kV (I caso);

— 20 m dai dispersori di impianti di terra delle stazioni di energia a tensione > 100 kV (II caso).

b) Per cavi aventi un rivestimento isolante sulla guaina metallica in cloruro di polivinile o polietilene (avente tensione nominale di perforazione ≥ 10000 V):

— 2 m nel I caso

— 10 m nel II caso.

Detto rivestimento deve avere una lunghezza tale che nessun punto non isolato disti meno di 5 m (I caso) o 20 m (II caso) da qualsiasi punto dell'impianto di terra; comunque il rivestimento deve avere una lunghezza minima di 10 m.

c) Qualora, per necessità tecniche, la distanza debba scendere al di sotto dei valori prescritti al punto precedente, il cavo, munito della guaina isolante suddetta, dovrà essere in-

serito in cassette di ferro dello spessore di almeno 2 mm, elettricamente continue per tutta la lunghezza. Tali cassette dovranno estendersi fino a riportare le distanze tra cavo non protetto e impianto di terra entro i limiti di cui al punto precedente; la lunghezza della protezione non deve comunque scendere al di sotto di 10 m. Il rivestimento isolante del cavo deve sporgere almeno 0,5 m oltre le estremità delle cassette.

CAPITOLO V

STATO ELETTRICO DELLE STRUTTURE

SEZIONE I - GENERALITÀ

5.1.01. - **Esame dello stato elettrico della struttura**

Lo stato elettrico del sistema struttura-ambiente è determinato da un campo elettrico, stazionario o non stazionario.

In generale la conoscenza dello stato elettrico del sistema struttura-ambiente dà indicazioni sul pericolo di corrosione e sulle cause che lo determinano¹.

5.1.02. - **Stati elettrici stazionari e non stazionari**

Lo stato elettrico stazionario di un sistema struttura-ambiente può essere determinato dal solo contatto del metallo con l'ambiente, oltre che da pile geologiche, da pile galvaniche, o da interferenze (vedasi Cap. I - «Definizioni») non provocate da impianti di trazione elettrica a corrente continua e dai relativi impianti di protezione catodica.

¹ Anche gli esami della natura fisica, chimica e biologica dell'ambiente e l'esame delle caratteristiche delle strutture e del loro tracciato forniscono indicazioni sul pericolo di corrosione (vedansi i Capp. II, III e IV).

Uno stato elettrico non stazionario è determinato da un campo elettrico dovuto a correnti disperse da impianti di trazione elettrica a corrente continua o da altri impianti a corrente continua caratterizzati da notevoli variazioni in funzione del carico, o infine da sistemi di protezione catodica contro le interferenze di tali impianti.

SEZIONE II - RILIEVO DELLO STATO ELETTRICO DI STRUTTURE

5.2.01. - Generalità

Per analizzare lo stato elettrico di una struttura è in generale sufficiente effettuare rilievi di potenziale sia lungo il suo percorso sia in senso trasversale ad esso.

Dall'esame di tali rilievi, eseguiti secondo il metodo descritto nell'Appendice E, è possibile localizzare le zone anodiche o catodiche della struttura. Quando da questa analisi risulti probabile un'interferenza da impianti a corrente continua, occorrerà individuare gli stessi per effettuare le prove di cui al Cap. VI, Sez. II.

Il metodo di indagine sopraindicato è utilizzabile nel caso di stati elettrici stazionari.

Quando esistano stati elettrici non stazionari, se ne può determinare l'origine esaminando le registrazioni del potenziale struttura-ambiente. Le perturbazioni provocate in particolare dalle correnti disperse da impianti di trazione elettrica sono facilmente riconoscibili in quanto provocano variazioni di potenziale correlate alle variazioni tipiche di carico dell'impianto. In ogni caso, è opportuno confrontare le registrazioni dello stato elettrico della struttura con una registrazione analoga effettuata contemporaneamente sull'impianto disperdente.

5.2.02. - Rilevazione dello stato elettrico

Per determinare lo stato elettrico di una struttura, in generale, si effettuano misure di tensione (potenziale della struttura rispetto all'ambiente, caduta di tensione lungo la struttura, rilievi di gradiente di potenziale nell'ambiente) e misure di corrente nella struttura (corrente longitudinale e corrente trasversale).

Nel caso di stati elettrici variabili i rilievi devono essere eseguiti impiegando strumenti registratori per la durata, in generale, di 24 ore. Dalla registrazione del potenziale della struttura si determinano separatamente la media dei valori del potenziale al di sopra della soglia di immunità e quella dei valori al di sotto di tale soglia, rilevando inoltre per quanto tempo si mantengono i valori di protezione e quelli fuori protezione nell'arco delle 24 ore. Con le registrazioni di corrente si procede in modo analogo, determinando separatamente le medie dei valori delle correnti trasversali scambiate nei due sensi fra metallo ed ambiente e la loro durata. Il pericolo di corrosione in un punto si valuta considerando il valore medio del potenziale al di sopra della soglia di immunità, la sua durata e i valori medi di corrente ceduta all'ambiente. L'impianto di protezione catodica va progettato in relazione ai valori massimi e minimi del potenziale ed ai valori delle correnti.

5.2.03. - Misure integrative dello stato elettrico

Oltre alle misure di cui alla precedente alinea 5.2.01., può essere utile effettuare determinazioni di resistenza trasversale (vedasi Cap. I - «Definizioni») della struttura e di resistività del terreno; nel caso di condutture sarà bene eseguire anche misure di resistenza longitudinale (vedasi Cap. I - «Definizioni») e di isolamento dei giunti isolanti.

5.2.04. - Esecuzione delle misure

Gli strumenti da usare, i criteri da seguire e gli accorgimenti pratici cui ricorrere per la corretta esecuzione della rilevazione dello stato elettrico di cui in 5.2.02. ed in 5.2.03., verranno descritti nelle seguenti sezioni.

SEZIONE III - MISURE DI TENSIONE

5.3.01. - Strumenti di misura [1] [2]

5.3.01.1. - Voltmetri indicatori

Per la misura del valore attuale della tensione continua si utilizzano voltmetri a bobina mobile le cui caratteristiche consigliabili sono le seguenti:

- a) resistenza interna per volt: maggiore di 10 k Ω , corrispondente a una corrente a fondo scala $\leq 10^{-4}$ A;
- b) ampiezza della scala: 100 o 120 mm;
- c) numero di divisioni: 100;
- d) portate: 0,5 - 1 - 2,5 - 5 - 10 - 100 V;
- e) zero centrale o spostato.

Si usano anche voltmetri elettronici e metodi potenziometrici; questi ultimi sono naturalmente usati nei casi in cui non si verificano rapide variazioni di potenziale.

5.3.01.2. - Voltmetri registratori

Si usano per rilevare i valori della tensione entro un certo intervallo di tempo. È consigliabile che le loro caratteristiche siano analoghe a quelle dei voltmetri indicatori (5.3.01.1.). È preferibile l'impiego di registratori ad azione diretta, del tipo a scrittura continua con amplificatore di ingresso. Non si vuole con ciò escludere l'impiego di apparecchi a scrittura di-

scontinua (per punti). È inoltre opportuno che i dispositivi di avanzamento della carta offrano la possibilità di diverse velocità comprese fra 60 e 600 mm/ora.

5.3.01.3. - *Millivoltmetri con derivatore*

È conveniente che i voltmetri, sia indicatori che registratori, abbiano una portata adeguatamente piccola da consentirne l'impiego come ampermetri con l'ausilio di opportuni derivatori.

5.3.02. - **Modalità per l'esecuzione della misura del potenziale della struttura**

5.3.02.1. - *Realizzazione e posizione del contatto con il terreno*

Il contatto con il terreno viene realizzato con un elettrodo di riferimento rame-solfato di rame, del tipo descritto nel Cap. I - Sez. II - «Definizioni», che deve essere posto il più vicino possibile al punto della struttura in cui s'intende misurare il potenziale ed in terreno umidificato. Nella pratica corrente, nel caso di condutture interrato, l'elettrodo si pone alla superficie del terreno sulla verticale della struttura². Altra ovvia raccomandazione si riferisce al caso in cui si sospetti la presenza di una pila ad aerazione differenziale in strutture aventi notevoli dimensioni trasversali; in questo caso infatti occorre disporre, possibilmente in fase di posa della struttura, elettrodi di riferimento di tipo fisso lungo la generatrice inferiore della struttura e in generale in tutti i punti in cui si tema la presenza di una zona anodica.

² La misura del potenziale di un punto della struttura è influenzata, in generale, dalla posizione relativa dell'elettrodo di riferimento rispetto al punto in esame, e ciò in conseguenza delle cadute ohmiche nel terreno. Tuttavia quanto più la struttura risulta isolata rispetto all'ambiente, tanto minore risulta l'influenza suddetta, in quanto la caduta ohmica va a localizzarsi quasi interamente sul rivestimento.

5.3.02.2. - *Realizzazione e posizione del contatto con la struttura*

Il contatto con la struttura viene realizzato mediante saldatura o morsetto mordente, possibilmente nel punto in cui si vuole misurare il potenziale. Quando ciò non sia possibile, la distanza fra il punto in esame ed il punto di contatto deve essere tale che la caduta di tensione dovuta alla corrente che percorre la struttura non dia luogo ad errore sensibile³.

5.3.02.3. - *Caso di inaccessibilità di un tratto di conduttura*

Nel caso in cui fosse difficoltoso effettuare il contatto sui punti di un tronco AB di conduttura nei quali si intende eseguire le misure di potenziale, si può misurare il potenziale alle estremità accessibili del tronco e, attraverso misure di potenziale del terreno (vedasi l'alinea 5.3.03. seguente), ottenere il potenziale nei punti desiderati come indicato in fig. V-1. La misura all'estremità B è necessaria per effettuare la compensazione dell'errore e dovuto alla caduta di tensione che si ha lungo il tronco di conduttura AB. Per la costruzione del grafico valgono le considerazioni esposte in 5.3.03.

5.3.02.4. - *Accorgimenti per limitare gli errori di misura*

Al fine di contenere l'errore dovuto alla corrente derivata dal voltmetro entro limiti accettabili, si consiglia di usare un voltmetro la cui resistenza interna sia molto maggiore della resistenza del circuito costituito dai cavetti, dai contatti e dal tratto di circuito definito dai due punti di misura.

³ Si tratti ad es. di una conduttura con resistenza $0,01 \Omega$ fra il punto di misura e quello di connessione, percorsa da una corrente di 2 A: la caduta di tensione di $0,02 \text{ V}$ fra tali due punti introduce nella misura di un potenziale di -1 volt un errore del 2%. Se si vuole ridurre questo errore, per es. allo 0,5%, occorrerà ridurre ad $1/4$ la distanza fra i due punti sulla conduttura stessa.

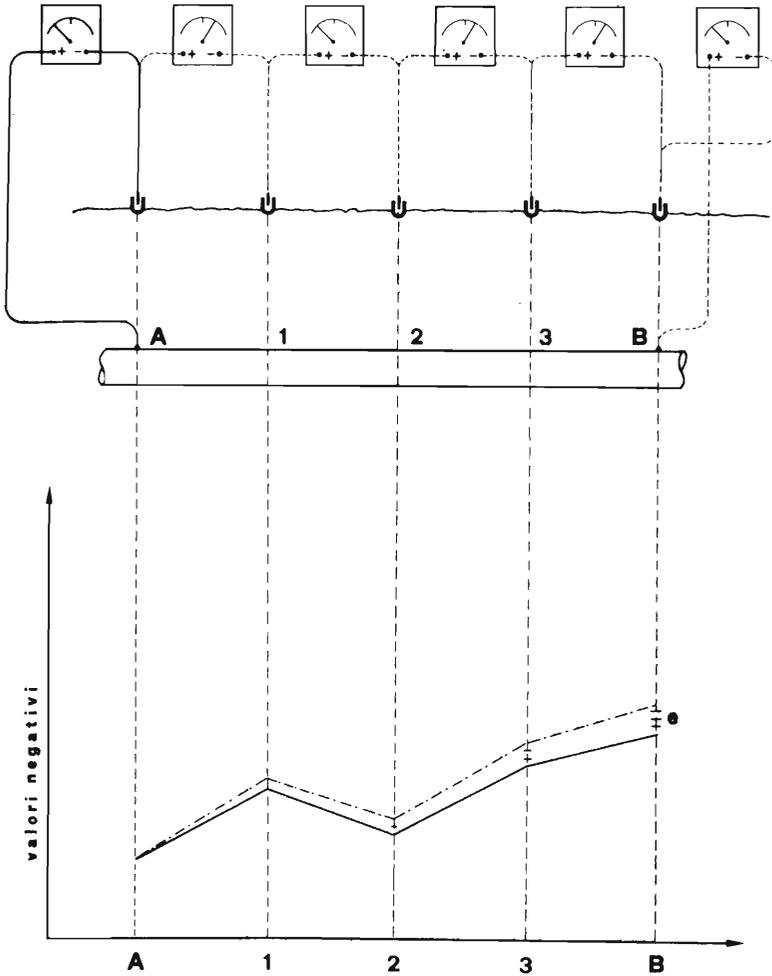


Fig. V-1 - Misure di potenziale nel caso di inaccessibilità di un tratto AB di conduttura.

Qualora non si disponga di un voltmetro rispondente a tale requisito può essere conveniente introdurre la correzione relativa, per esempio mediante due letture su differenti portate dello strumento (vedasi Appendice F.1 ~~1.~~).

5.3.03. - **Modalità per l'esecuzione del rilievo dell'andamento del potenziale del terreno**

5.3.03.1. - *Realizzazione e posizione dei contatti con il terreno*

Il contatto con il terreno, nel caso di rilievo dell'andamento del potenziale per punti, viene realizzato con elettrodi di riferimento rame-solfato di rame, del tipo descritto nel Cap. I - «Definizioni», che per una prima misura orientativa possono essere posti, ad es., ad una distanza di 20 metri l'uno dall'altro.

Dall'esame dei risultati di questa prima misura si stabilirà, nel proseguimento dei rilievi, se convenga diminuire la distanza fra gli elettrodi al fine di avere un rilievo più accurato del potenziale del terreno.

Per l'esecuzione di questo tipo di rilievo, nel caso in cui la situazione elettrica sia praticamente stazionaria, si può anche utilizzare un dispositivo che permette di rilevare con continuità l'andamento del potenziale lungo un tracciato prestabilito [23].

Il dispositivo consiste principalmente in un elettrodo a ruota il cui spostamento sul terreno sta in un determinato rapporto con l'avanzamento della striscia di carta di un voltmetro registratore (fig. V-2). Il dispositivo di avanzamento del registratore è comandato mediante albero flessibile dall'elettrodo a ruota.

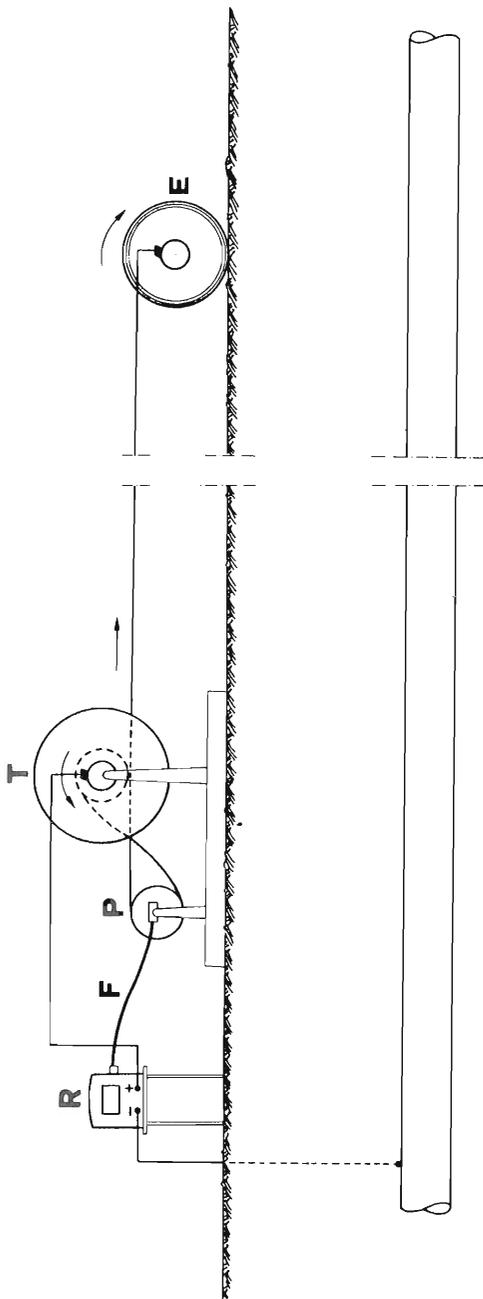


Fig. V-2 - Rilievo continuo dell'andamento del potenziale.

- E = Elettrodo a ruota; P = Puleggia;
 R = Voltmetro registratore; T = Tamburo.
 F = Albero flessibile;

5.3.03.2. - *Disposizione dei collegamenti dei morsetti dello strumento agli elettrodi*

Per evitare possibili errori nell'attribuzione del segno alle letture si raccomanda di effettuare i collegamenti dei morsetti dello strumento agli elettrodi in modo che uno stesso morsetto, ad es. il positivo, sia collegato sempre all'elettrodo che precede, oppure sempre a quello che segue, rispetto al senso di avanzamento, come indicato in fig. V-3.

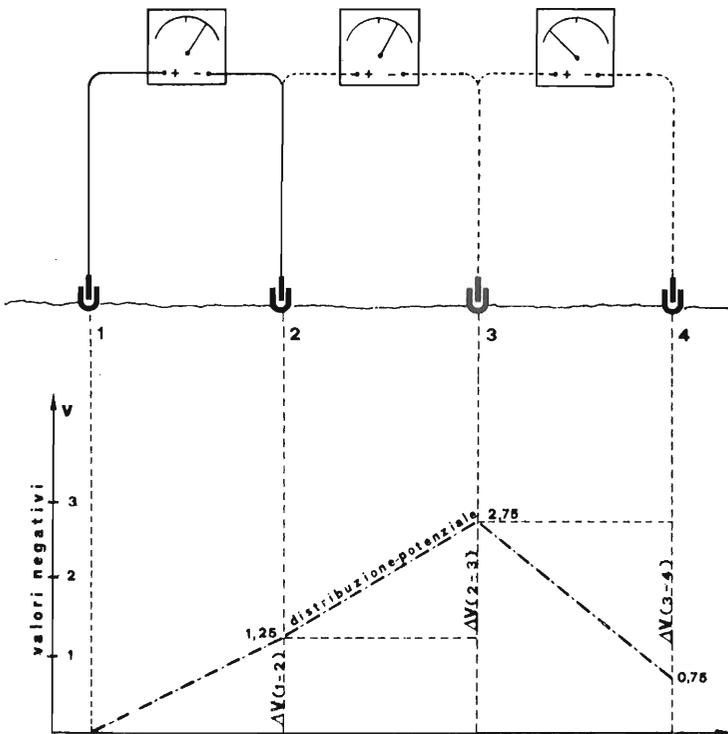


Fig. V-3 - Rilievo dell'andamento del potenziale del terreno.

5.3.03.3. - *Grafico dell'andamento del potenziale del terreno*

Le differenze di potenziale ΔV , misurate tra coppie di punti successivi disposti lungo il tracciato della condotta, consentono subito di disegnare il diagramma della distribuzione del potenziale del terreno (fig. V-3)⁴.

5.3.03.4. - *Accorgimenti per limitare gli errori di misura*

Per quanto riguarda la valutazione dell'errore di inserzione del voltmetro valgono le considerazioni esposte in 5.3.02.4..

Nel caso di rilievo per punti, al fine di contenere l'errore dovuto a diversità degli elettrodi usati, occorre confrontare tali elettrodi per rilevare le eventuali differenze di potenziale esistenti fra loro ed eventualmente fra ciascuno di essi ed un elettrodo preso come campione. Per effettuare questo confronto tutti gli elettrodi debbono evidentemente essere a contatto con uno stesso elettrolita equipotenziale.

Le differenze di potenziale tra gli elettrodi debbono essere contenute nell'ordine di qualche mV. In caso contrario l'errore può comunque essere ridotto ripetendo la lettura con i due elettrodi scambiati ed assumendo come valore corretto la media algebrica delle due letture.

Nel caso di rilievo continuo è indispensabile bagnare abbondantemente il terreno lungo il percorso ed evitare inoltre, per quanto possibile, terreni che presentino asperità tali da rendere molto difficoltoso il contatto fra l'elettrodo ed il terreno stesso, con conseguenti errori dovuti alle variazioni della resistenza di tale contatto.

⁴ Nel grafico di fig. V-3 i potenziali dei vari punti del terreno sono riferiti al potenziale del punto 1.

SEZIONE IV - MISURE DI CORRENTE

5.4.01. - **Strumenti di misura** [1] [2]5.4.01.1. - *Ampermetri indicatori*

Per la misura del valore istantaneo della corrente continua si impiegano strumenti a bobina mobile⁵ le cui caratteristiche consigliabili sono le seguenti:

- a) caduta di tensione a fondo scala: 50 mV;
- b) ampiezza della scala: 100 o 120 mm;
- c) numero di divisioni: 100;
- d) portate: 1 - 2 - 5 - 10 - 25 - 50 - 100 A;
- e) zero centrale o spostato.

Possono essere impiegati millivoltmetri con derivatore.

5.4.01.2. - *Ampermetri registratori*

Questi strumenti devono avere caratteristiche analoghe a quelle degli ampermetri indicatori.

Sono normalmente ad azione diretta ed a scrittura continua. È inoltre opportuno che i dispositivi di avanzamento della carta offrano la possibilità di diverse velocità comprese fra 60 e 600 mm/ora. Possono ovviamente essere impiegati anche millivoltmetri registratori con derivatore.

5.4.01.3. - *Millivoltmetri*

In alcuni metodi di misura indiretta della corrente (vedansi le alinee seguenti) si impiegano millivoltmetri.

⁵ Se, nell'impiegare questi strumenti, si nota una vibrazione dell'indice, ciò indica la presenza di correnti alternate a frequenza industriale.

5.4.02. - Misura dell'intensità di corrente longitudinale nelle condutture

5.4.02.1. - Generalità

Per misurare la corrente longitudinale in una qualunque sezione di una conduttura il metodo più semplice, tale da poter essere in ogni caso applicato con gli strumenti in normale dotazione alle squadre di misura, consiste nell'inserzione diretta di un ampermetro a resistenza sufficientemente piccola in corrispondenza di un sezionamento della conduttura, sia nel caso in cui esso sia predisposto (giunto isolante cavallottato) sia nel caso in cui sia relativamente facile operare un vero e proprio taglio della conduttura (come nel caso della guaina di piombo dei cavi). Ove non sia possibile operare il sezionamento si dovranno usare o il metodo di compensazione o il metodo per caduta di tensione, tenendo presente che per la determinazione di correnti molto piccole (su condutture di grande sezione) occorrono strumenti particolarmente sensibili.

5.4.02.2. - Metodo diretto applicabile a condutture sezionabili

Consiste nella misura dell'intensità di corrente mediante l'inserzione di un ampermetro (vedasi fig. V-4) che abbia le caratteristiche indicate in 5.4.01.1. Per limitare l'errore dovuto all'inserzione dello strumento occorre ridurre il più possibile

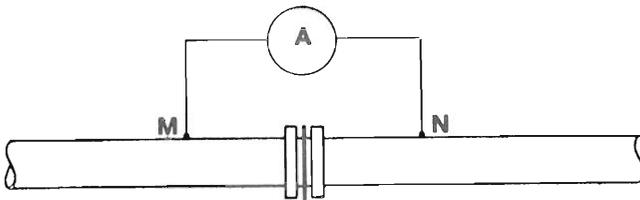


Fig. V-4 - Metodo diretto (corrente longitudinale).

la resistenza dei cavetti di collegamento e dei contatti. Per valutare l'entità di tale errore è utile eseguire le letture della corrente su due diverse portate dello strumento. Se la differenza fra i due valori rilevati supera l'errore ammissibile può essere conveniente introdurre la relativa correzione (vedasi Appendice F.2.03.).

23

5.4.02.3. - *Metodi applicabili a condutture non sezionabili*⁶

Sono:

- a) metodo di compensazione;
- b) metodo per caduta di tensione.

a) **Metodo di compensazione** - La misura viene effettuata realizzando il circuito schematizzato in fig. V-5, nel quale la polarità della batteria è tale che la corrente $I_l - I_c$ nel tratto *HK* tenda ad annullarsi. L'annullamento si ottiene manovrando il reostato fino ad ottenere l'azzeramento del millivoltmetro. Il valore di I_c indicato dall'ampermetro in queste condizioni rappresenta ovviamente l'intensità della corrente longitudinale, purché possa ritenersi trascurabile la resistenza del tronco *HK* rispetto a quella della rimanente parte di circuito condotta-terreno. La lunghezza del tronco compresa tra le connessioni millivoltmetriche *M* ed *N* viene stabilita all'atto della misura in relazione alle caratteristiche del millivoltmetro di cui si dispone (vedasi Appendice F.2.01.).

24

⁶ Questi metodi possono normalmente applicarsi sui tronchi di condutture, accessibili all'interno di camerette, che siano di lunghezza tale da rendere possibile la misura. Nel caso di tubazioni si possono utilizzare le camerette di sezionamento o di diramazione; nel caso di cavi posati in trincea, le camerette di giunzione o di pupinizzazione (cavi telefonici) e, se i cavi sono posati in cunicoli, le camerette di tiro. Nei punti dove non vi siano camerette occorre provvedere a mettere allo scoperto il tronco di conduttura sul quale si vuole effettuare la misura. Applicando infatti i metodi qui descritti a tronchi di condutture interrati non si terrebbe conto dell'errore introdotto dalle correnti trasversali.

M ed N del millivoltmetro devono essere comprese tra quelle dell'ampermetro, come mostrato in fig. V-5, e la distanza fra una connessione dell'ampermetro e la corrispondente connessione del millivoltmetro deve essere di poco superiore al diametro della conduttura⁷.

Il metodo di compensazione non si può applicare quando si verificano rapide variazioni nella corrente.

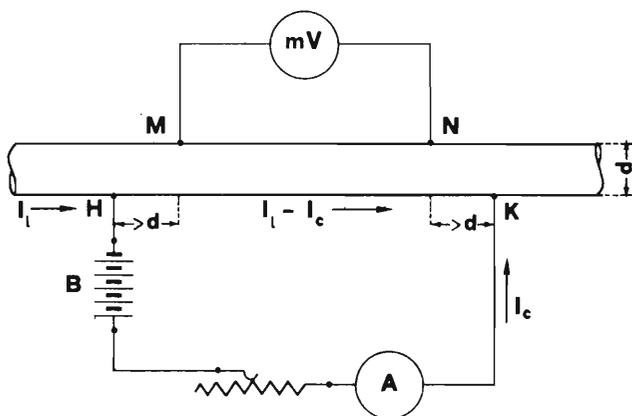


Fig. V-5 - Metodo di compensazione.

- A = Ampermetro;
- mV = Millivoltmetro;
- B = Generatore di corrente continua;
- M-N = Connessioni del millivoltmetro;
- H-K = Connessioni del circuito di compensazione;
- d = Diametro della conduttura.

⁷ Questa limitazione si rende necessaria per il fatto che le connessioni H e K esercitano, agli effetti della distribuzione del campo di corrente, un effetto di «nodo» che non è limitato ai soli due punti H e K ma si estende, nella tubazione, per un certo tratto a sinistra ed a destra di ciascuno dei suddetti punti, mentre i morsetti voltmetrici M ed N debbono evidentemente essere al di fuori di questi tratti e compresi fra essi, in modo che la d.d.p. tra M ed N dipenda solo dal campo di corrente uniforme nel tronco MN (e si annulli quando tale campo di corrente è effettivamente nullo).

b) **Metodo per caduta di tensione** - La corrente viene determinata mediante il rapporto fra la caduta di tensione in un dato tronco della struttura, misurata con un millivoltmetro o con un potenziometro, e la resistenza longitudinale del tronco stesso. Per quanto riguarda la valutazione dell'errore di misura valgono le considerazioni esposte in 5.3.02.4. (vedasi Appendice F.2.02.).

L'impiego di un potenziometro non è possibile quando l'intensità di corrente subisce variazioni apprezzabili mentre è in corso la misura; in questo caso è opportuno l'impiego di un millivoltmetro registratore. La resistenza del tronco della conduttura in esame può essere determinata:

1) calcolandola in base alle dimensioni della conduttura ed alla resistività media del materiale, alla temperatura ambiente. In Appendice sono riportati alcuni dati orientativi della resistività dell'acciaio per tubi e del piombo per guaine di cavi (Appendici G e H).

2) misurandola mediante metodo voltampermetrico.

Lo schema del circuito di misura è indicato in fig. V-6.

Sia $V_2 - V_1$ la variazione della tensione misurata con il millivoltmetro tra i punti M ed N , essendo V_2 la lettura a circuito *HBK* chiuso e V_1 la lettura a circuito aperto. Sia inoltre $V'_2 - V'_1$ l'analoga variazione misurata fra i punti M' ed N' scelti a distanza tale che $MN = M'N'$. Se I è la corrente misurata dall'ampmetro, la resistenza R del tronco MN in esame è data dalla⁸

$$R = \frac{(V'_2 - V'_1) + (V_2 - V_1)}{I}$$

⁸ Infatti, supposto che i due tratti MN e $M'N'$ abbiano uguale resistenza e indicando con i la corrente longitudinale a circuito di compensazione aperto (interruttore in posizione 1), si ha:

$$V_1 = -Ri \qquad V'_1 = Ri$$

a circuito di compensazione chiuso (interruttore in posizione 2) si ha:

$$V_2 = (I_1 - i) R \qquad V'_2 = (I'_1 + i) R$$

Nel caso in cui la parte di circuito condotta-terreno all'esterno del tratto *HK* sia percorsa da una corrente trascurabile

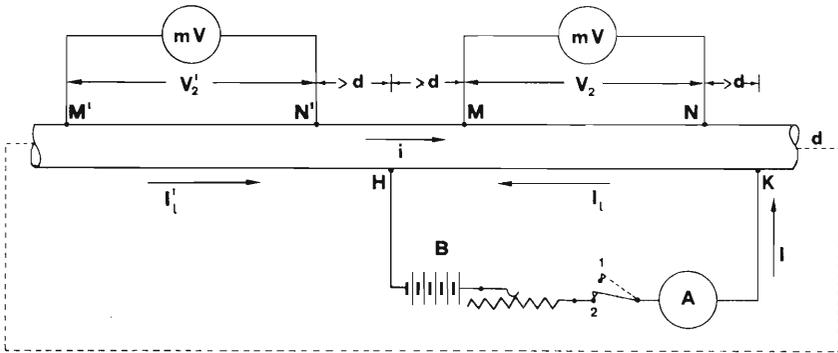


Fig. V-6 - Metodo voltamperometrico (1° caso).

- | | |
|--------------------------------------|--|
| A = Ampermetro; | M-N, M'-N' = Connessioni dei millivoltmetri; |
| mV = Millivoltmetro; | H-K = Connessioni dell'ampermetro; |
| B = Generatore di corrente continua; | d = Diametro della conduttura. |

rispetto a quella che circola in tale tratto, la misura si può realizzare secondo lo schema indicato in fig. V-7 e la formula soprascritta si semplifica nella seguente:

$$R = \frac{V_2 - V_1}{I}$$

essendo I_1 e I'_1 correnti di maglia.

Si ricavano le seguenti espressioni:

$$V_2 - V_1 = RI_1 \qquad V'_2 - V'_1 = RI'_1$$

dalle quali, sommando membro a membro e tenendo presente che $I_1 + I'_1 = I$, si ottiene la espressione indicata nel testo.

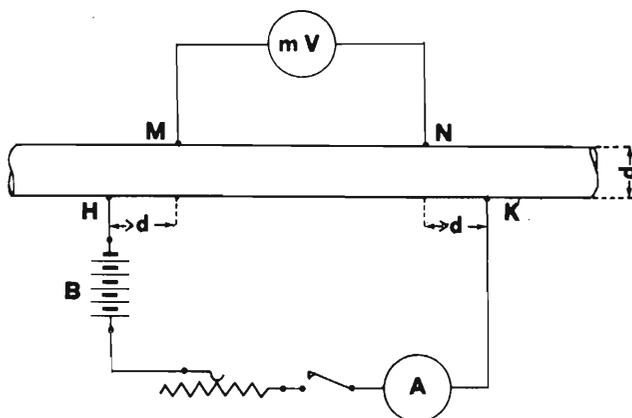


Fig. V-7 - Metodo voltamperometrico (2° caso).

A = Ampermetro;	M-N = Connessioni del millivoltmetro;
mV = Millivoltmetro;	H-K = Connessioni dell'ampermetro;
B = Generatore di corrente continua;	d = Diametro della conduttura.

5.4.03. - Misura dell'intensità di corrente trasversale nelle condutture

5.4.03.1. - Generalità

La corrente scambiata tra il suolo ed un dato tronco di conduttura si determina come somma algebrica delle correnti longitudinali misurate in corrispondenza delle sezioni estreme del tronco stesso, assumendo, ad esempio, il segno positivo per la corrente longitudinale entrante nel tronco ed il segno negativo per quella uscente. Se la somma è positiva il senso della corrente trasversale va dal metallo al terreno.

È opportuno osservare che i metodi qui descritti consentono di conoscere solamente il valore e il senso della corrente scambiata con il terreno dall'intero tronco di conduttura; non

possono dare analoghe indicazioni (valore e senso della corrente) nei singoli punti del tronco.

5.4.03.2. - *Metodi applicabili a condutture sezionabili*

Qualora sia possibile il sezionamento della conduttura in punti che comprendono il tronco in esame si possono adottare i seguenti metodi:

- a) metodo delle misure contemporanee;
- b) metodo diretto.

a) **Metodo delle misure contemporanee** - La corrente trasversale relativa al tronco MN si può misurare eseguendo letture contemporanee su due amperometri rispettivamente inseriti fra le coppie di punti H, M ed N, K di fig. V-8. In presenza di correnti variabili è consigliabile l'uso di due amperometri registratori aventi le caratteristiche indicate in 5.4.01.2.

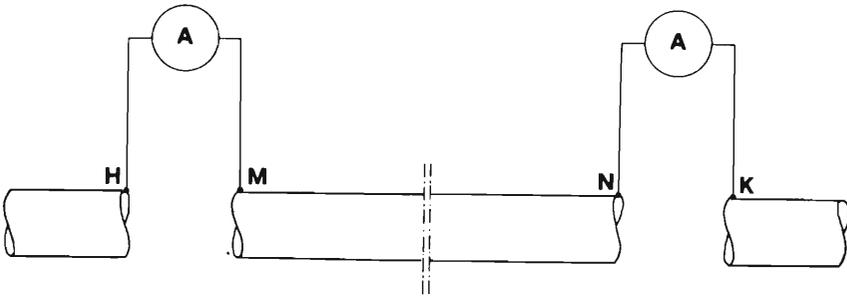


Fig. V-8 - Metodo delle misure contemporanee.

b) **Metodo diretto** - Non disponendo di una coppia di amperometri, la misura della corrente trasversale può essere eseguita mediante l'inserzione di un ampermetro rispondente alle caratteristiche indicate in 5.4.01.1., così da realizzare il

circuito rappresentato in fig. V-9. Il conduttore utilizzato per ripristinare la continuità elettrica fra i tronchi adiacenti sarà isolato da terra in modo da poter trascurare la corrente trasversale e dovrà presentare una resistenza elettrica R uguale a quella del tronco sezionato.

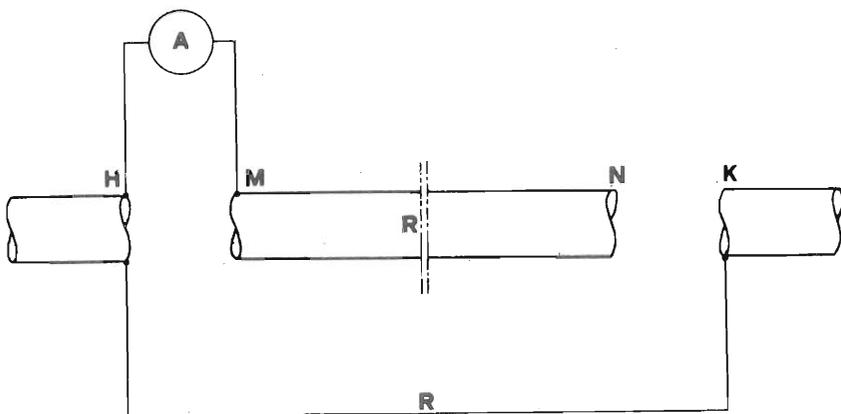


Fig. V-9 - Metodo diretto (corrente trasversale).

5.4.03.3. - Metodi applicabili a condutture non sezionabili

I metodi comunemente usati sono:

- a) metodo delle misure contemporanee;
- b) metodo a doppio ponte simmetrico.

a) **Metodo delle misure contemporanee** - La corrente trasversale relativa al tronco di conduttura considerato si determina eseguendo misure contemporanee, in corrispondenza delle sezioni estreme del tronco, con i metodi descritti in 5.4.02.. È raccomandabile che gli strumenti usati per le misure ed i rispettivi collegamenti abbiano le stesse caratteristiche.

Il metodo delle misure contemporanee può essere usato anche in presenza di correnti variabili: in tal caso l'unico metodo che si può impiegare per la misura della corrente longitudinale è quello per «caduta di tensione» (vedasi 5.4.02.3.b).

b) Metodo a doppio ponte simmetrico - La misura viene effettuata realizzando il circuito schematizzato in fig. V-10. Ponendo l'ipotesi che il complesso di misura derivi una frazione trascurabile delle correnti longitudinali, l'intensità di corrente

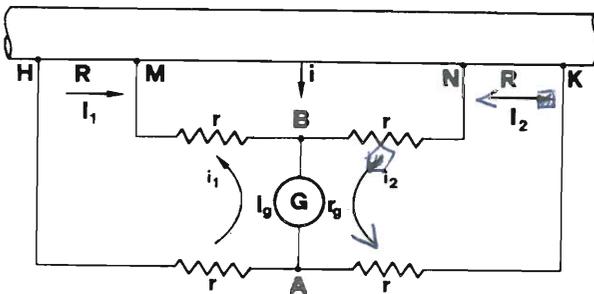


Fig. V-10 - Metodo a doppio ponte simmetrico.

- G = Galvanometro;
- M-N = Connessioni interne;
- H-K = Connessioni esterne;
- A-B = Connessioni del galvanometro.

trasversale scambiata col terreno dal tronco *MN* può essere calcolata con la seguente formula: ⁹

$$i = \frac{2(r + r_g)}{R} I_g$$

⁹ Essendo I_1 e I_2 rispettivamente le correnti nei due tronchi *HM* ed *NK* e i_1 e i_2 le correnti delle due maglie del ponte, si ha:

$$I_1 - I_2 = i \quad \text{e} \quad i_1 - i_2 = I_g$$

Le equazioni delle due maglie sono:

dove si è posto:

i = corrente trasversale;

r = valore comune alle quattro resistenze del ponte;

r_g = resistenza del galvanometro;

I_g = corrente che attraversa il galvanometro;

R = valore comune della resistenza dei tronchi HM ed NK.

Il senso della corrente trasversale resta definito da quello della corrente galvanometrica. Se questa è diretta da A verso B (vedasi fig. V-10) la corrente trasversale è uscente (diretta dal metallo al terreno) e viceversa. Se la resistenza r dei lati del ponte è trascurabile in confronto a quella interna r_g del galvanometro, la formula si semplifica nella

$$i = \frac{2 V_{AB}}{R}$$

dove $V_{AB} = r_g I_g$

SEZIONE V - MISURA DELLA RESISTENZA TRASVERSALE DELLE CONDUTTURE

5.5.01. - Strumenti di misura

Per la misura descritta nella presente Sezione si utilizzano gli strumenti le cui caratteristiche sono indicate nelle precedenti Sezioni III e IV, alle alinee 5.3.01. e 5.4.01.

5.5.02. - Metodo di misura della resistenza trasversale delle condutture

Un metodo generale per la misura della resistenza trasversale, o di dispersione, di un tronco di conduttura è il se-

$$RI_1 = 2ri_1 + r_g(i_1 - i_2)$$

$$RI_2 = 2ri_2 + r_g(i_2 - i_1)$$

e da esse si ricava la formula.

guente [24]:

a) servendosi di un circuito di alimentazione (fig. V-11) comprendente un generatore di c.c., un interruttore ed un ampermetro, si applica, in modo intermittente¹⁰, tra un punto M del tronco in esame (punto di drenaggio) ed un dispersore lontano (vedasi alinea 5.5.03.), una d.d.p. tale che alle estremità del tronco si abbia il potenziale di protezione;

b) si determina il valore ΔV medio delle variazioni di potenziale struttura/ambiente¹¹, che si manifestano alla chiusura del circuito di alimentazione lungo tutto il tronco in esame, in base alla teoria esposta in Appendice I.

Tale valore medio si determina secondo i criteri indicati alla alinea 5.5.04.

c) si misurano le variazioni ΔI_H e ΔI_K della corrente longitudinale rispettivamente alle estremità H e K del tronco in esame per effetto della chiusura del circuito di alimentazione. Si applica in generale (come schematicamente indicato in fig. V-11) il metodo per caduta di tensione (5.4.02.3., b) a due tratti $H'H''$ e $K'K''$ in corrispondenza delle due estremità del tronco in esame; in ciascuna estremità si legge la corrente nelle due condizioni di interruttore chiuso e di interruttore aperto, eseguendo poi la differenza dei due valori di

¹⁰ Per poter distinguere con immediatezza il periodo di inserimento da quello di disinserimento in pratica è risultato soddisfacente un inserimento di 15" ed un disinserimento di 5" (Schwenk e Ternes [25]).

¹¹ A questo proposito è opportuno osservare che nella letteratura tecnica americana (ad es. N.A.C.E. [24], Peabody [2]) i rilievi di potenziale nei metodi di misura della resistenza trasversale vengono effettuati rispetto ad un elettrodo di riferimento remoto e pertanto potrebbero condurre a risultati diversi da quelli ottenuti disponendo l'elettrodo sulla verticale della conduttura. Al fine di evitare contestazioni si ritiene opportuno adottare questo ultimo criterio che porta a risultati pressoché identici per strutture ben isolate (vedasi nota 2 all'alinea 5.3.02) e comunque sempre tali da differire di quantità che rientrano largamente nei limiti degli errori comunemente ammessi in questo tipo di misure.

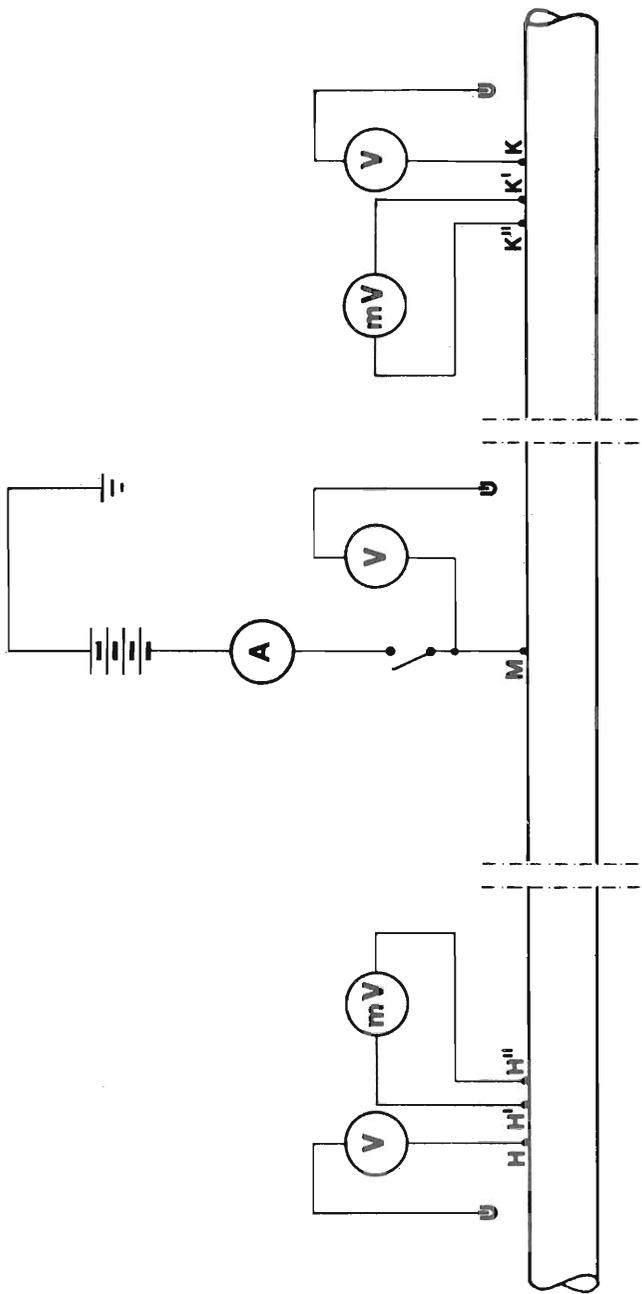


Fig. V-11 - Misura della resistenza trasversale (punto di drenaggio interno al tronco HK).

corrente così ottenuti¹². Nel caso di correnti variabili le singole determinazioni alle due estremità H e K dovranno essere contemporanee.

Nello stesso tempo si legge sull'ampermetro A inserito nel circuito di alimentazione l'intensità I della corrente di alimentazione.

Si calcola infine la variazione ΔI della corrente trasversale raccolta dal tronco in esame, per effetto della chiusura del circuito di alimentazione, mediante la

$$\Delta I = I - (\Delta I_H + \Delta I_K) \quad (1)$$

Nel caso che il tratto di conduttura in questione risulti compreso fra due giunti isolanti si ha:

$$\Delta I = I$$

d) si assume come resistenza trasversale (o di dispersione) della conduttura, o del tronco considerato HK di essa, il valore fornito dalla

$$R_t = \frac{\Delta V}{\Delta I} \quad (2)$$

nella quale, se ΔV è in volt e ΔI è in ampere, R_t risulta in ohm.

Il valore di resistenza che così si ottiene dipende non solo dalla resistenza di isolamento del rivestimento della struttura, ma, seppure in misura generalmente assai minore, dalle caratteristiche del dispersore e dalla resistività dell'ambiente; a causa di quest'ultimo parametro, la R_t così determinata è influenzata dalle condizioni, spesso mutevoli, del mezzo ambien-

¹² Si considerino positive le correnti entranti nel tronco HK , cioè dirette verso il punto M , e negative quelle dirette in senso contrario.

te al momento delle misure. È consigliabile quindi eseguire misure di resistività dell'ambiente per definire le condizioni nelle quali si effettua la misura.

e) Il punto di drenaggio M può anche essere esterno al tronco del quale si vuole determinare la resistenza trasversale (fig. V-12). A tale disposizione (adottata ad es. dal Peabody [2], pag. 45 e segg.) si dovrà evidentemente ricorrere ogni qualvolta i punti intermedi (o le estremità) del tronco in esame risultano inaccessibili.

Adottando questa disposizione, mentre per la determinazione di ΔV si rimanda anche qui all'alinea 5.5.04., *b*), per la determinazione di ΔI si applica la formula

$$\Delta I = \Delta I_H - \Delta I_K \quad (3)$$

ove ΔI_H e ΔI_K hanno lo stesso significato e si determinano come è specificato nel precedente punto *c*)^{13 14}.

Se il tronco risulta compreso fra due giunti isolanti è possibile adottare la disposizione con drenaggio esterno: basta cavallottare con un conduttore il giunto più vicino al drenaggio, lasciando l'altro aperto; in questo caso, detta H l'estremità corrispondente al giunto cavallottato, la precedente formula (3) si riduce alla

$$\Delta I = \Delta I_H$$

ove ΔI_H può essere più semplicemente determinata con il metodo diretto (alinea 5.4.02.2.).

¹³ L'attribuzione dei segni ai valori di corrente longitudinale rilevati è la stessa specificata nel precedente punto *c*), nota 12: positive le correnti dirette verso M , negative nel caso contrario.

¹⁴ Benché in questo caso, come si vede, non compaia nella formula il valore I della corrente drenata, la sua conoscenza è sempre opportuna sia come controllo, sia per evitare errori grossolani nella misura di corrente longitudinale.

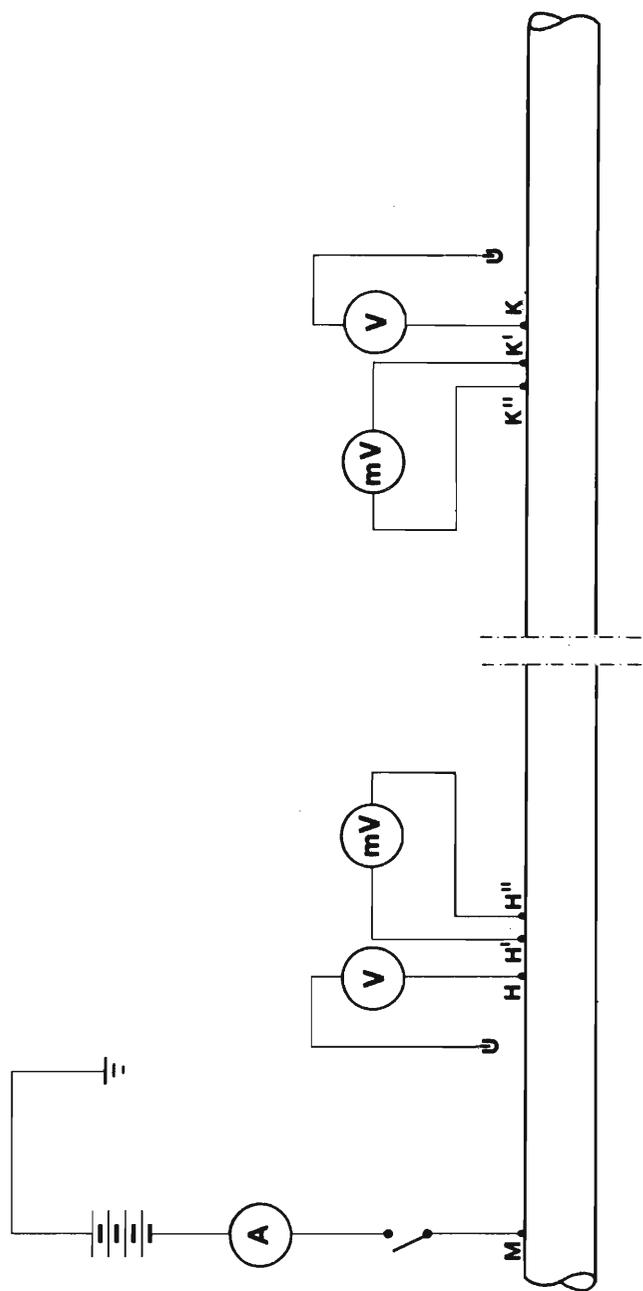


Fig. V-12 - Misura della resistenza trasversale
(punto di drenaggio esterno al tronco HK).

5.5.03. - Distanza del dispersore dalla struttura e definizione di dispersore «lontano»

Richiamandoci a quanto prescritto al punto *a*) dell'alinea precedente, il dispersore deve essere posto sufficientemente lontano dalla conduttura, o dal tronco di essa, che è oggetto della misura.

Si definisce «lontano» un dispersore quando un aumento di 10÷20 m della sua distanza dalla conduttura dia luogo a variazioni di d.d.p. conduttura/terreno non apprezzabili o comunque trascurabili.

5.5.04. - Determinazione della variazione media di potenziale

Distinguiamo due casi, a seconda che il punto di drenaggio *M* (alinea 5.5.02., *a*) venga disposto all'interno oppure all'esterno del tronco di conduttura *HK* del quale si vuole determinare la resistenza trasversale.

a) M interno al tronco HK (o coincidente con una delle due estremità) - In questo caso il valore medio ΔV delle variazioni di potenziale struttura/ambiente, riferito a tutta la lunghezza del tronco, si ottiene dalle medie parziali ΔV_H e ΔV_K , calcolate separatamente nei due tratti in cui il tronco resta suddiviso da *M* (fig. V-13), mediante la

$$\Delta V = \frac{\Delta V_H \cdot MH + \Delta V_K \cdot MK}{HK} \quad (4)$$

Ciascuna media parziale ΔV_H e ΔV_K si ottiene moltiplicando la variazione minima δV_L , che si rileva in ciascuna delle estremità *H* e *K*, per il coefficiente *K* ricavabile dalle tabelle 1 e 2 in funzione del rapporto $\frac{\delta V_M}{\delta V_L}$, essendo δV_M la variazione massima del potenziale presente nel punto di drenaggio *M*¹⁵.

¹⁵ Per ogni chiarimento sul metodo qui applicato e sulla compilazione delle tabelle si rimanda all'Appendice I (e, specificatamente, alla alinea I.4).

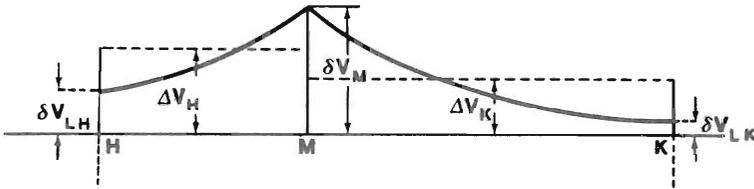


Fig. V-13 - Valori minimi, medi e massimi delle variazioni di potenziale, in un tronco HK.

TABELLA 1

$\frac{\delta V_M}{\delta V_L}$	K						
1,0	1,000	2,1	1,482	3,2	1,891	4,3	2,262
1,1	1,049	2,2	1,521	3,3	1,926	4,4	2,294
1,2	1,097	2,3	1,560	3,4	1,961	4,5	2,327
1,3	1,143	2,4	1,559	3,5	1,995	4,6	2,359
1,4	1,188	2,5	1,637	3,6	2,029	4,7	2,390
1,5	1,233	2,6	1,674	3,7	2,063	4,8	2,422
1,6	1,277	2,7	1,710	3,8	2,097	4,9	2,454
1,7	1,319	2,8	1,748	3,9	2,130	5,0	2,485
1,8	1,361	2,9	1,784	4,0	2,164		
1,9	1,402	3,0	1,820	4,1	2,197		
2,0	1,442	3,1	1,856	4,2	2,229		

TABELLA 2

$\frac{\delta V_M}{\delta V_L}$	K						
1,0	1,000	1,6	1,193	2,2	1,375	2,8	1,548
1,1	1,032	1,7	1,224	2,3	1,404	2,9	1,576
1,2	1,066	1,8	1,254	2,4	1,433	3,0	1,604
1,3	1,099	1,9	1,286	2,5	1,461		
1,4	1,130	2,0	1,315	2,6	1,492		
1,5	1,163	2,1	1,345	2,7	1,520		

La tabella 1 è valida nei casi in cui il tronco di conduttura in esame possa ritenersi parte integrante di una conduttura continua di notevole lunghezza. Si osserva comunque che se il rapporto $\frac{\delta V_M}{\delta V_L}$ è inferiore a 3 la variazione media di potenziale può più semplicemente ottenersi dalla media aritmetica di δV_M e δV_L : in tal caso infatti il valore così ottenuto differisce da quello dedotto facendo uso della tabella sempre meno del 10% (approssimazione senz'altro lecita in questo genere di misure).

La tabella 2 è valida per tronchi compresi fra giunti isolanti o per condutture di lunghezza limitata¹⁶. Si osserva qui che se il rapporto $\frac{\delta V_M}{\delta V_L}$ è inferiore a 1,6 la variazione media di potenziale può più semplicemente ottenersi dalla media aritmetica di δV_M e δV_L : anche in questo caso, così facendo, si commette un errore inferiore al 10%.

b) M esterno al tronco HK - Si utilizzano le due tabelle precedentemente riportate con l'avvertenza di sostituire al posto di $\frac{\delta V_M}{\delta V_L}$ il rapporto $\frac{\delta V_1}{\delta V_2}$, essendo δV_1 e δV_2 le variazioni di potenziale presenti rispettivamente all'estremità più vicina (variazione massima) e a quella più lontana (variazione minima) rispetto al punto di drenaggio *M* (vedasi alinea I.4. dell'Appendice I).

Più precisamente il valore medio ΔV delle variazioni di potenziale si ottiene moltiplicando la variazione minima δV_2 per il coefficiente *K* ottenuto dalla tabella 1 se il tronco in esame fa parte di una conduttura di notevole lunghezza, dalla tabella 2 se detto tronco è compreso fra due giunti isolanti

¹⁶ In questo caso, conviene, ove possibile, disporre il punto di drenaggio a una delle due estremità (*H* o *K*): in tal modo le misure di potenziale si fanno in due soli punti, anziché in tre, della conduttura.

(dei quali si sarà cavallottato quello più vicino al punto di drenaggio) o nel caso di condutture di lunghezza limitata. Anche qui ΔV può più semplicemente ottenersi dalla media aritmetica di δV_1 e δV_2 ove ricorrano, per il rapporto $\frac{\delta V_1}{\delta V_2}$, le condizioni già viste al precedente punto a) per il rapporto $\frac{\delta V_M}{\delta V_L}$: anzi si può qui osservare che tali condizioni ricorrono quasi sempre se il drenaggio è posto sufficientemente lontano dal tronco in esame.

5.5.05. - Resistenza trasversale unitaria

In accordo a quanto specificato all'alinea 5.5.02., punto d), la resistenza media trasversale per metro lineare di conduttura si calcola, in $\Omega \cdot m$, mediante la

$$r_t = \frac{\Delta V}{\Delta I} l \quad (5)$$

ove l è lo sviluppo lineare della conduttura espresso in metri. La resistenza media trasversale per metro quadrato di superficie esterna è espressa, in $\Omega \cdot m^2$, dalla

$$r_t = \frac{\Delta V}{\Delta I} \pi l d \quad (6)$$

ove d è il diametro esterno della conduttura espresso in metri.

5.5.06. - Casi di inapplicabilità del metodo

Il metodo descritto nella presente Sezione cade in difetto nel caso in cui la conduttura in esame si trovi in contatto con altre strutture o presenti falle localizzate nel rivestimento. In

tal caso, prima di effettuare le misure, occorre individuare tali vie di dispersione di corrente con i metodi descritti in 5.5.07. e provvedere alla loro eliminazione.

La probabilità dell'esistenza di contatti o falle può essere a priori stabilita sulla base dei valori r_t ottenuti mediante la (5) e la (6). Per condutture isolate con rivestimenti bituminosi (di tipo normale o pesante) si ritiene, in via orientativa, che valori della resistenza media trasversale unitaria inferiore a $100 \Omega \cdot m^2$ indichino che, con grande probabilità, esistono contatti con altre strutture metalliche (non isolate) o falle localizzate (se però tali valori vengono rilevati dopo numerosi anni dalla posa delle condotte, ciò può anche essere dovuto a un grave deterioramento dell'intero rivestimento verificatosi nel tempo)¹⁷.

Nel caso di rivestimenti costituiti da materie plastiche (resine o gomme sintetiche) la presenza di vie di dispersione della corrente è sempre indicata da improvvisi e fortissimi abbassamenti della r_t (che passa, per es., da valori di qualche $M \Omega \cdot m^2$ a valori di centinaia o migliaia di volte inferiori); tali inconvenienti sono rilevabili con misure ripetute periodicamente.

5.5.07. - Localizzazione di contatti e di falle sulle condutture interrate

In genere non è possibile realizzare la protezione di una tubazione se essa si trova, in uno o più punti, a contatto con altre strutture metalliche interrate. Si ha inoltre che la protezione di una tubazione può richiedere correnti elevate se l'iso-

¹⁷ Se, dopo *almeno* due o tre anni dalla posa in opera della tubazioni, si rilevano valori di r_t compresi fra 1000 e 5000 $\Omega \cdot m^2$, il rivestimento bituminoso si deve ritenere efficiente e si può escludere la presenza di contatti o falle; se si ottengono valori superiori ai 5000 $\Omega \cdot m^2$ si può stabilire che il rivestimento esercita ottimamente la sua funzione isolante.

lamento di essa presenta numerose falle, o è addirittura mancante in alcuni tratti. La necessità della ricerca e della eliminazione dei contatti e delle falle si manifesta frequentemente sia al momento della installazione di una protezione catodica, sia durante il suo esercizio.

5.5.07.1. - *Localizzazione di contatti fra strutture interrato*

Per localizzare i contatti fra una condotta e altre strutture si possono utilizzare i seguenti metodi [26]:

- metodo del generatore ad audio-frequenza (fig. V-14)
- metodo delle misure millivoltmetriche (fig. V-15).

Il primo metodo è quello normalmente utilizzato; dove però esso cade in difetto, ad es. nel caso di contatti fra tubazioni parallele fra loro, si deve ricorrere al secondo, più laborioso e costoso, ma valido in ogni caso.

La ricerca dei contatti con il primo metodo si attua collegando fra la tubazione ed una presa di terra un generatore di segnali ad audio-frequenza con potenza intorno ai 50 W.

Spostando lungo la verticale della condotta un ricevitore sufficientemente selettivo fornito di bobina rivelatrice e di cuffia, è possibile individuare l'ubicazione di un contatto. Se la bobina del ricevitore viene mantenuta in un piano parallelo al terreno il segnale udibile nella cuffia ha intensità praticamente nulla. Nel punto dove esiste il contatto si avverte un notevole aumento dell'intensità. Se la bobina viene mantenuta in un piano perpendicolare al terreno (caso della fig. V-14) si ha che il segnale si indebolisce o si annulla a partire dal punto in cui è avvenuto il contatto. Si può operare indifferentemente con bobina parallela o perpendicolare al terreno.

Le frequenze consigliabili per il segnale sono comprese fra 650 e 1000 Hz; è inoltre opportuno che esse non siano multiple della frequenza industriale (50 Hz).

In vicinanza di cavi o di linee di trasporto di energia elettrica conviene utilizzare una frequenza di circa 10 kHz per evitare i disturbi provocati da tali linee,

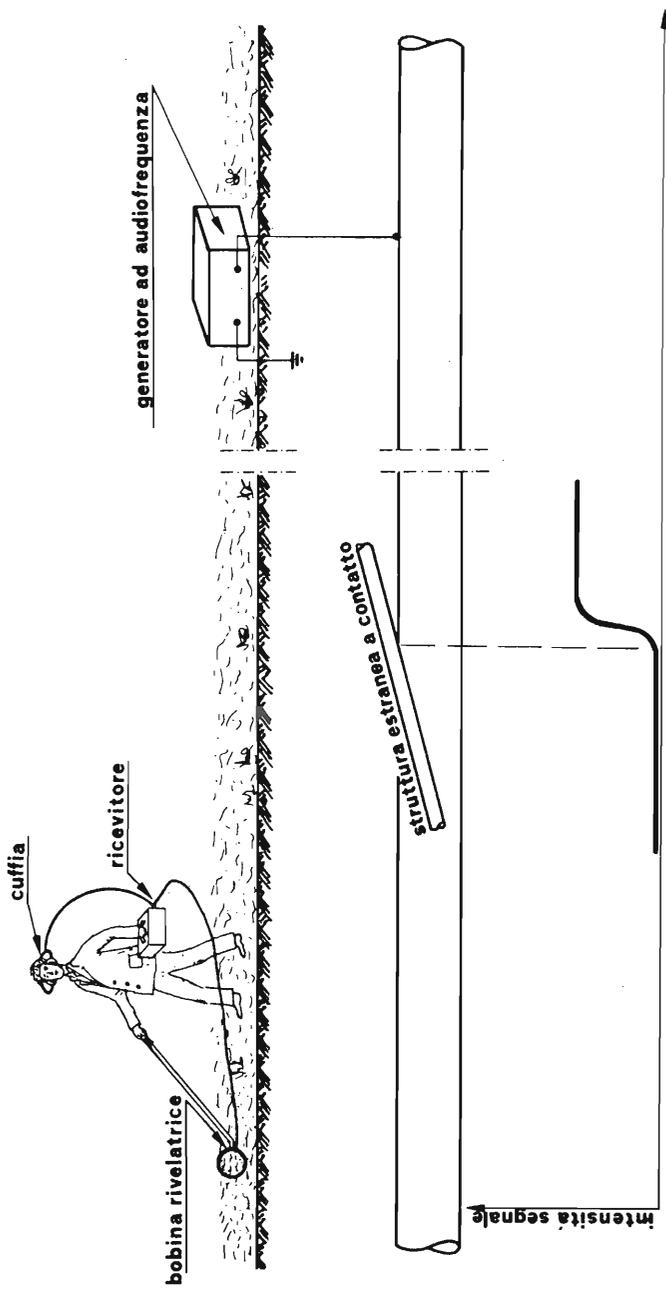


Fig. V-14 - Ricerca contatti con il metodo del generatore ad audiofrequenza.

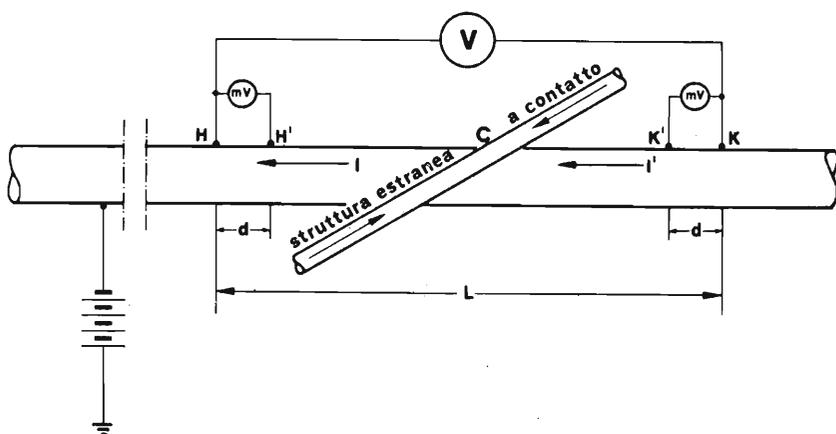


Fig. V-15 - Ricerca contatti con il metodo delle misure millivoltmetriche.

Per la ricerca con il secondo metodo si utilizza un qualsiasi generatore di corrente continua in grado di erogare una corrente sufficientemente elevata in relazione alla resistenza longitudinale della conduttura e si realizza il circuito illustrato in fig. V-15.

La posizione di un punto di contatto C in un tronco HK di conduttura è data dall'espressione:

$$HC = \frac{V_{HK}d - V_{KK'}L}{V_{HH'} - V_{KK'}} \quad (7)$$

essendo $V_{HH'}$ e $V_{KK'}$ le cadute di tensione, misurate con un millivoltmetro (o, eventualmente, con un potenziometro) rispettivamente nei tratti HH' e KK' , d la lunghezza dei suddetti tratti, V_{HK} la differenza di potenziale fra gli estremi del tronco considerato ed L la lunghezza del tronco stesso¹⁸.

¹⁸ Detta r la resistenza longitudinale per metro lineare di conduttura, I e I' le correnti longitudinali di ritorno che percorrono rispettivamente i tronchi HC e CK della conduttura (vedasi fig. V-15) e posto $x = HC$, si può scrivere

In presenza di correnti vaganti o di contatti multipli, oppure se l'isolamento nei tratti HH' e KK' non è perfetto, si devono usare tecniche particolari.

5.5.07.2. - Localizzazione di falle d'isolamento su condutture interrate

Nella pratica corrente i procedimenti di localizzazione usati sono diversi a seconda che si tratti di tubazioni o di cavi.

a) Nel caso di tubazioni, per localizzare le falle o le zone non rivestite si utilizzano i due metodi seguenti:

- metodo del rilievo del potenziale lungo la conduttura;
- metodo di Pearson (fig. V-16) [27].

Con entrambi i metodi possono anche essere localizzati i contatti con altre strutture.

Il primo metodo permette di rilevare la posizione di falle di una certa dimensione in modo approssimato e non di stabilirne le dimensioni; il secondo metodo permette di stabilire posizione e dimensioni di falle anche molto piccole in modo abbastanza preciso.

Per utilizzare il primo metodo si deve collegare un generatore a corrente continua fra la tubazione ed un dispersore lontano circa 30 m, con il morsetto negativo applicato alla conduttura.

La corrente erogata deve essere sufficiente a provocare elevate variazioni di potenziale nel tratto in esame, tali da evidenziare i punti difettosi.

Le misure sul terreno devono essere eseguite come descritto all'alinea 5.3.03.1. distanziando gli elettrodi di circa 1 m

$$V = r [Ix + I' (L - x)]$$

I e I' si deducono dalle misure millivoltmetriche essendo

$$I = \frac{V_{HH'}}{r \cdot d} \qquad I' = \frac{V_{KK'}}{r \cdot d}$$

Sostituendo queste espressioni nella relazione precedente e risolvendo rispetto a $x = HC$, si ottiene la (7).

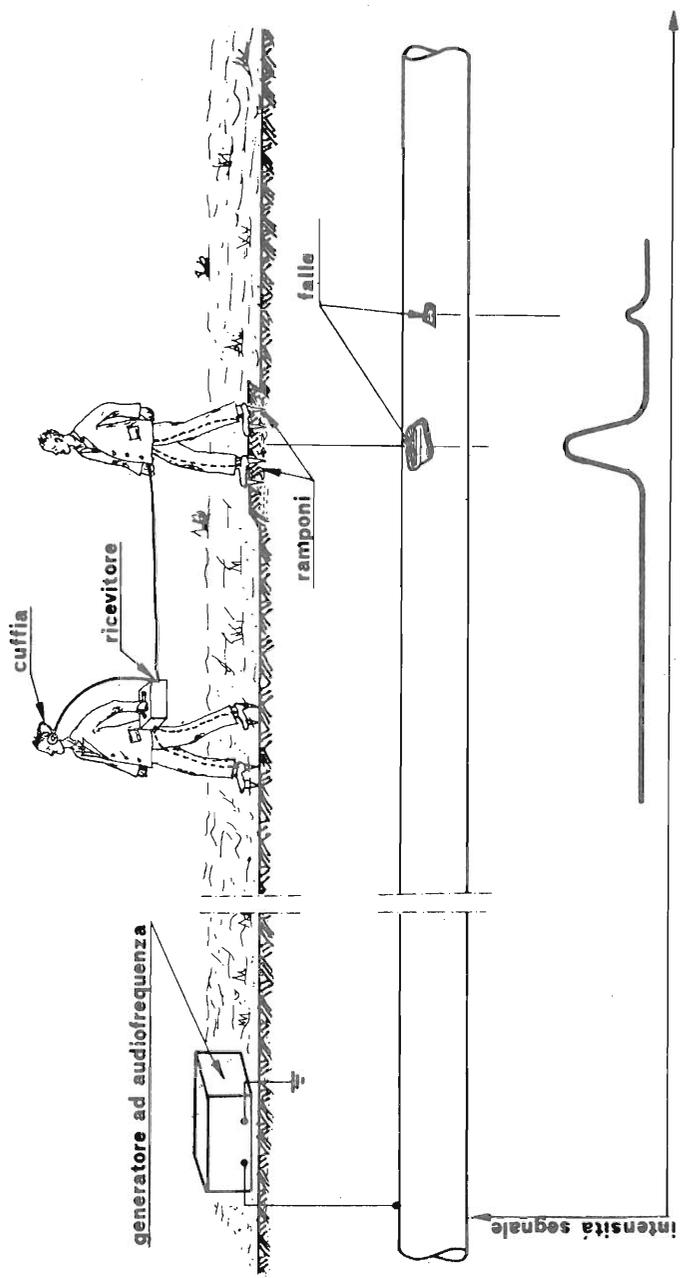


Fig. V-16 - Localizzazione di falle con il metodo «Pearson».

fra loro (fig. V-1) oppure usando l'elettrodo a ruota (fig. V-2). Il metodo si presenta molto laborioso ed è spesso affetto da errori sistematici. Nei punti in cui il potenziale della conduttura presenta variazioni in senso positivo (sempre che la conduttura sia posata a profondità costante) si può ritenere che esista una falla o una mancanza di rivestimento.

Per eseguire le misure con il secondo metodo si deve disporre di un generatore ad audio-frequenza e di un ricevitore con cuffia in tutto simili a quelli descritti in 5.5.07.1. La potenza del generatore è in genere di 35 W. Il ricevitore in questo caso non viene collegato alla bobina ma a quattro ramponi metallici fissati sotto le scarpe di due operatori che camminano sulla verticale della canalizzazione, mantenendo tra di loro una distanza di $5 \div 6$ m. Nel punto dove esiste una falla si ha un forte aumento dell'intensità del segnale in cuffia; se il ricevitore è anche fornito di microampermetro è possibile, con opportuna taratura eseguita sulla base di esperienze dirette, stabilire l'ordine di grandezza del difetto di isolamento.

b) Nel caso di cavi, pur potendo essere applicabili i metodi generali descritti in *a)*, risulta assai più conveniente, per la localizzazione delle falle o di altri difetti di isolamento, servirsi dei seguenti metodi:

- metodi di misura a ponte alle estremità del cavo;
- metodi di localizzazione a scavo aperto.

I metodi del primo tipo consentono di calcolare con approssimazione dell'ordine di alcuni metri la posizione di falle anche molto piccole mediante misure elettriche a ponte effettuate alle estremità del cavo¹⁹; i metodi del secondo tipo consentono invece, una volta eseguito lo scavo su indicazione dei valori calcolati con i metodi a ponte, di individuare

¹⁹ In alcuni casi, nei quali il guasto è dovuto a manomissioni in seguito a lavori, il punto dove è necessario procedere allo scavo è facilmente individuabile mediante un'accurata ispezione del terreno.

con precisione il punto in cui è presente la falla, essendo questa spesso non rilevabile a vista.

I metodi a ponte più usati sono quelli detti di Fischer, di Murray e dei tre Varley. Per la teoria e la pratica esecuzione di questi metodi si rimanda a opere specializzate [28] [29]. Gli errori introdotti nei metodi sopramenzionati sono essenzialmente dovuti alla non uniformità della sezione delle guaine metalliche e alle resistenze dei contatti realizzati nei circuiti di misura.

Per verificare la validità dei risultati determinati con i metodi a ponte è opportuno comunque eseguire le misure a entrambe le estremità della tratta di cavo interessata.

I metodi del secondo tipo consistono nel fare scorrere sul rivestimento, a scavo aperto, un apposito elettrodo che assicuri un buon contatto su tutti i punti della superficie esterna del cavo. Collegando a terra il suddetto elettrodo strisciante e applicando una tensione alternata fra la guaina metallica e il terreno (ad esempio per mezzo di un «megger») si può rilevare l'esatta posizione di una falla quando il circuito di misura è percorso da corrente.

5.5.08. - **Controllo dei giunti isolanti**

5.5.08.1. - *Metodo della bobina indotta* (fig. V-17) [30]

Viene impiegato un generatore a corrente alternata portatile, costituito da una sorgente di f.e.m. continua (per es. batteria) accoppiata ad un invertitore a vibratore, che converte la tensione continua in alternata. I morsetti dell'apparecchio vengono collegati ai due lati del giunto di cui si vuole controllare l'efficienza dell'isolamento. In vicinanza del giunto si dispone attorno alla conduttura una opportuna bobina, avvolta a più strati su un nucleo (generalmente toroidale) di materiale ferromagnetico ad alta permeabilità: i capi della bobina sono collegati ad uno strumento rivelatore di corrente

alternata o, più comunemente e semplicemente, ad un avvisatore acustico accordato sulla frequenza del generatore. Se il giunto è inefficiente o difettoso il circuito della corrente alternata, oltre a chiudersi attraverso il terreno circostante o le pareti della cameretta entro le quali il giunto è sistemato, si chiuderà anche attraverso il giunto stesso, determinando un flusso magnetico alternato concatenato con la bobina e quindi una corrente indotta in questa, che sarà segnalata dall'indice dello strumento o dall'avvisatore acustico. Se invece il giunto è efficiente la corrente potrà solo richiudersi attraverso il terreno circostante e le pareti della cameretta, non inducendo alcuna corrente nella bobina.

Lo strumento rivelatore o l'avvisatore acustico possono essere incorporati nel generatore, costituendo così un unico apparecchio a quattro morsetti (come schematicamente indicato

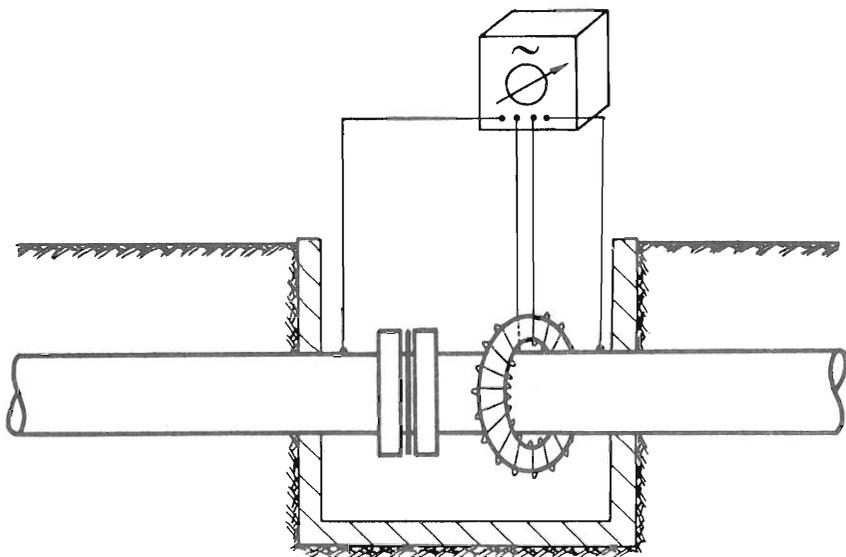


Fig. V-17 - Controllo di un giunto difettoso -
Metodo della bobina indotta.

nella fig. V-17). L'apparecchio sarà corredato con diverse bobine avvolte su nuclei di dimensioni diverse, opportunamente costruiti per adattarsi ai diversi diametri delle condutture.

5.5.08.2. - *Metodo del generatore ad audio-frequenza*

Il controllo si effettua come descritto in 5.5.07.1. e si può utilizzare un generatore con potenza di uscita inferiore (circa 10 W). Se il giunto isolante è efficiente, l'intensità del segnale in corrispondenza di esso varia bruscamente, come avviene nel caso di un contatto con struttura metallica scarsamente isolata; se il giunto invece non è efficiente la variazione del segnale può essere piccola o non avvertibile.

CAPITOLO VI

INTERFERENZA FRA STRUTTURE

SEZIONE I - GENERALITÀ

6.1.01. - **Interferenza**

Per interferenza fra strutture immerse in un ambiente si intende il fenomeno per il quale si ha uno scambio indesiderato di corrente fra le strutture stesse attraverso l'ambiente (Cap. I - «Definizioni»).

Poiché il fenomeno ha carattere di reciprocità, sarebbe improprio parlare di strutture interferenti ed interferite. Tuttavia una stessa struttura può essere considerata interferente quando si voglia rilevare l'interferenza che essa provoca su altre strutture; può essere considerata invece interferita quando si debba rilevare l'interferenza che essa subisce da parte di altre.

6.1.02. - **Possibilità di soluzione dei problemi di interferenza**

Le strutture nel sottosuolo diventano sempre più numerose: per alcune di esse la protezione attiva è obbligatoria, per altre vi è interesse ad applicare la protezione stessa per rilevanti ragioni economiche e di sicurezza.

I problemi di interferenza diventano pertanto sempre più complessi e la possibilità di dar loro soluzioni scarsamente onerose dal punto di vista tecnico ed economico si offre soltanto se essi vengono affrontati con vivo spirito di collaborazione e se tutte le strutture sono elettricamente ben isolate, rivestite o in cunicolo (Cap. III - Sez. III e Cap. IV).

SEZIONE II - RILEVAMENTO E CONTROLLO PERIODICO DELLA INTERFERENZA

6.2.01. - Individuazione delle strutture

Per il rilevamento delle interferenze è necessario individuare la ubicazione e le caratteristiche geometriche delle strutture interessate al fenomeno, nonché la loro situazione elettrica.

Si consiglia di rivolgere l'attenzione, innanzitutto, alle seguenti strutture:

- a) stazioni elettriche, rotaie, cavi di alimentazione di ferrovie e tramvie elettrificate;
- b) strutture protette catodicamente;
- c) terre e dispersori di impianti in corrente continua;
- d) anodi galvanici od anodi dispersori;
- e) strutture non protette catodicamente, rotaie di trasporti non elettrificati e impianti di terra, nei quali circolino correnti continue;
- f) impianti filoviari, in quanto possono presentare dispersioni.

6.2.02. - Rilevamento delle interferenze

Il rilevamento della interferenza su una data struttura si esegue disinserendo ed inserendo in modo ciclico, compatibilmente con le esigenze di esercizio, le f.e.m. esterne di ciascuna

struttura considerata come interferente (alinea 6.1.01.), una per volta. Nello stesso tempo si determinano, preferibilmente con strumenti registratori, le variazioni dello stato elettrico della struttura sulla quale si vuole rilevare l'interferenza.

Prima di iniziare le operazioni di cui al capoverso precedente, può essere utile, ai fini di una determinazione convenzionale della aliquota di danno che ciascuna struttura interferente provoca su quella interferita, disinserire le f.e.m. esterne di tutte le strutture considerate come interferenti.

Se l'entità della interferenza è piccola o la si voglia determinare con maggior approssimazione, è consigliabile, in entrambi i casi, eseguire i rilievi dopo aver disinserito anche le f.e.m. esterne della struttura sulla quale si intende rilevare la interferenza. Infatti, si potranno utilizzare in tali condizioni strumenti di portata adeguata alla entità della interferenza.

Qualora non siano possibili le manovre di inserzione e di disinserzione, i rilevamenti devono essere eseguiti con registrazioni contemporanee dello stato elettrico di tutte le strutture in esame; l'esame delle registrazioni, effettuato da un esperto, può consentire di individuare le caratteristiche della interferenza.

6.2.03. - Punti di rilevamento della interferenza

Il rilevamento della interferenza va effettuato per tutta la estensione presumibilmente interessata della struttura in esame.

Per ottenere risultati sicuramente attendibili con il numero minimo di misure, la scelta dei punti di misura deve essere eseguita da tecnici esperti. In ogni caso fra i punti prescelti devono figurare quelli di minore distanza fra le strutture.

6.2.04. - Posizione dell'elettrodo di riferimento

Nelle misure di interferenza si deve porre l'elettrodo di riferimento il più vicino possibile alla struttura interferita e nello spazio di terreno compreso tra questa e la struttura interferente. Qualora non fosse possibile rispettare tali condizioni, si dovrà tener conto della caduta di potenziale nel terreno e della posizione reciproca delle strutture rispetto a quella effettiva dell'elettrodo.

6.2.05. - Controlli periodici

Si consiglia all'Ente proprietario della struttura interferita di controllare periodicamente lo stato elettrico nei punti ove si siano già verificati casi di interferenza.

SEZIONE III - LIMITI ACCETTABILI DELLA INTERFERENZA

6.3.01. - Generalità

I limiti accettabili per la interferenza sono diversi a seconda che si tratti di strutture:

- a) con protezione attiva;
- b) senza protezione attiva.

6.3.02. - Struttura interferita con protezione attiva

Salvo diverso accordo con l'Ente proprietario della struttura interferita, in relazione alla particolare situazione, le variazioni di potenziale nei punti prescelti (alinea 6.2.03.) devono essere contenute entro il 10% in senso positivo ed il 15% in senso negativo del valore assoluto del potenziale della

struttura nel punto di misura ¹.

In ogni caso le variazioni positive non devono mai essere tali da portare il potenziale della struttura al di sopra del potenziale di sicurezza (vedasi Cap. I - «Definizioni»); per le strutture in piombo le variazioni negative non devono essere tali da portare il potenziale al di sotto di -2500 mV [31].

6.3.03. - Struttura interferita senza protezione attiva o parzialmente protetta

Nei punti di misura prescelti le variazioni di potenziale in senso positivo non devono essere apprezzabili. Le variazioni in senso negativo sono tollerabili purché le conseguenti variazioni in senso positivo restino inapprezzabili.

SEZIONE IV - PROVVEDIMENTI DA ADOTTARE PER CONTENERE LE INTERFERENZE NEI LIMITI AMMISSIBILI

6.4.01. - Provvedimenti in sede di progetto

All'atto del progetto è bene adottare tutti gli accorgimenti necessari al fine di prevenire le interferenze e quindi di evitare interventi, generalmente onerosi, dopo la posa. Ovviamente qualsiasi provvedimento deve tendere, per quanto possibile, alla riduzione della intensità delle correnti circolanti nell'ambiente. Ciò al fine di evitare che la protezione dalla interferenza di una struttura comporti l'aumento del livello di protezione delle altre adiacenti e così via. Perciò si consiglia, in generale, di adottare i provvedimenti di cui al Cap. III (Sez. II e III), di evitare campi di corrente molto intensi, frazio-

¹ Ad esempio se la struttura, nel punto considerato, è ad un potenziale di $-1,00$ Volt (Cu/CuSO_4), i potenziali ammissibili saranno compresi nell'intervallo: $-0,9 \div -1,15$ Volt.

nando in un numero adeguato di stazioni la potenza degli impianti interferenti, di scegliere la posizione più favorevole dei dispersori rispetto alle strutture vicine e di realizzare una bassa resistenza verso terra dei dispersori stessi.

6.4.02. - **Provvedimenti per variazioni positive del potenziale**

Se il potenziale della struttura interferita subisce una variazione positiva superiore ai limiti indicati (6.3.02. e 6.3.03.) si può adottare uno dei seguenti provvedimenti:

a) miglioramento dell'isolamento verso terra delle strutture interferenti ed interferite; tale provvedimento è da usarsi in particolare in corrispondenza degli attraversamenti delle strutture in questione;

b) riduzione, per quanto tecnicamente possibile, della corrente di protezione della struttura interferente;

c) aumento della corrente di protezione della struttura interferita. Se tale corrente di protezione diventa eccessiva, adottare il provvedimento di cui in *d)*;

d) impianto di drenaggio regolato fra la struttura interferente ed interferita;

e) installazione di impianti di protezione catodica (con anodi galvanici o con alimentatori catodici).

Tali provvedimenti sono elencati in ordine preferenziale; in particolare si consiglia di adottare il provvedimento di cui in *a)* e passare ad uno dei successivi solo quando il miglioramento dell'isolamento non risolva completamente il problema, oppure non sia attuabile per ragione pratiche.

6.4.03. - **Provvedimenti per variazioni negative del potenziale**

Se il potenziale della struttura interferita subisce una variazione negativa non contenuta nei limiti indicati in 6.3.02. e 6.3.03., si consigliano i seguenti provvedimenti:

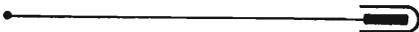
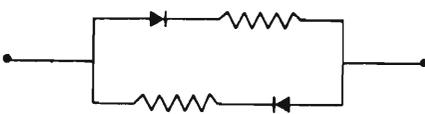
a) miglioramento dell'isolamento verso terra della struttura interferente ed interferita;

b) frazionamento dell'impianto di protezione della struttura interferente in più impianti eroganti ciascuno una minore intensità di corrente di protezione;

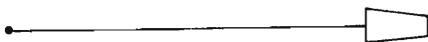
c) allontanamento, quando possibile, del dispersore dell'impianto interferente dalla struttura interferita.

APPENDICE A
(allegata al Capitolo III)

**SEGNI GRAFICI RELATIVI AI PROVVEDIMENTI
CONTRO LA CORROSIONE**

- | | |
|--|---|
| 1) Elettrodo di riferimento |  |
| 2) Dispersore |  |
| 3) Drenaggio semplice o collegamento |  |
| 4) Drenaggio regolato |  |
| 5) Drenaggio unidirezionale o polarizzato |  |
| 6) Drenaggio unidirezionale regolato |  |
| 7) Drenaggio bidirezionale |  |
| 8) Drenaggio forzato (con radrizzatori) |  |
| 9) Drenaggio forzato (con generatori c.c.) |  |

10) Anodo galvanico



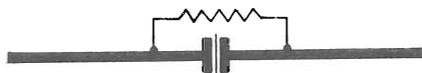
11) Giunto isolante aperto



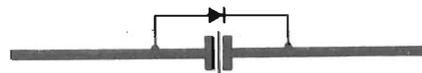
12) Giunto isolante cortocircuitato



13) Giunto isolante regolato



14) Giunto isolante direzionale



15) Punto di misura predisposto (p. m.)



APPENDICE B
(allegata alla Sezione II del Capitolo IV)

Dalla parte II «Requisiti e metodi di prova» della Comunicazione 13 - Edizione 1962 - del Metaalinstituut TNO vengono di seguito riportate alcune norme relative al paragrafo K «Metodi di prova». Dal punto 3 «Esame dei materiali bituminosi» del suddetto paragrafo K è stata tratta la descrizione delle prove cui si riferiscono i controlli elencati nella alinea 4.2.05. (Sezione II del Cap. IV). Esse sono applicabili sia ai bitumi sia alle miscele bitumose o ai bitumi estratti da vernici bituminose.

Alla descrizione delle prove sottoelencate sono state premesse le modalità di preparazione dei campioni (alinea 3.0.), necessarie perché i risultati ottenuti siano sicuri e riproducibili.

- 3.1. - Punto di rammollimento
- 3.2. - Penetrazione
- 3.3. - Punto di rottura di Fraass
- 3.4. - Scorrimento
- 3.5. - Impronta
- 3.7. - Carica
- 3.11. - Aderenza

Vengono inoltre riportate dal punto 4 «Esame dei materiali di carica» la prova al setaccio (alinea 4.1.), dal punto 5

«Esame del materiale per nastri di armatura e dei nastri pre-bitumati» la prova della resistenza a trazione ed allungamento a rottura (alinea 5.4) e dal punto 6 «Esame del rivestimento protettivo esterno» la prova di continuità ed uniformità del rivestimento o *prova di scintillamento (spark test)* (alinea 6.3.).

Estratto dalla Comunicazione 13 - Edizione 1962 - del Metaal-instituut TNO

PARTE II - REQUISITI E METODI DI PROVA

Paragrafo K - *Metodi di prova*

Punto 3 - ESAME DEI MATERIALI BITUMOSI

3.0. - PREPARAZIONE DEI CAMPIONI

Per ottenere risultati sicuri e riproducibili il campione deve essere omogeneo; inoltre lo si deve liberare da eventuali inclusioni di aria e di umidità. Le impurità solide devono essere eliminate mediante setacci, ad esempio col setaccio N 480-d-0,150.

Ci si attiene ai procedimenti standard di seguito descritti.

3.0.1. - PER I BITUMI NON CARICATI

Sono necessari:

Un bagno d'aria e di sabbia

Crogiuoli di fusione aventi all'incirca le seguenti dimensioni:

Diametro del fondo	65 mm
Diametro in corrispondenza del bordo superiore	95 mm
Altezza	65 mm

Un termometro A, secondo il punto 7 dell'«Appendice».

PROCEDIMENTO

Si introduce in un crogiuolo un campione del peso di 200 ± 25 g e lo si riscalda, immerso in aria o in sabbia, fino alla cessazione della schiumeggiatura, portandolo a raggiungere una temperatura che risulterà da 75° a 100°C superiore a quella del punto di ram-mollimento misurato secondo il metodo P.A. La durata del riscaldamento non deve superare 30 minuti primi. Durante il ri-

scaldamento la massa deve essere rimescolata allo scopo di ottenere un campione omogeneo. Per eliminare dal campione bolle d'aria persistenti, se necessario lo si introduce in un forno che viene mantenuto alla temperatura summenzionata. Questa operazione deve durare il meno possibile, comunque non più di 1 ora; inoltre, se sulla superficie si forma una pellicola, questa va eliminata. Immediatamente dopo si riempiono le apparecchiature destinate all'esecuzione della prova.

3.0.2. - PER I BITUMI CARICATI

Sono necessari:

Un dispositivo di fusione per fondere da 1 a 7 kg di materiale bitumoso a riscaldamento indiretto.

Un termometro del tipo A, secondo il punto 7 dell'«Appendice».

PROCEDIMENTO

Si introduce nell'apparecchiatura per la fusione un campione della grandezza desiderata e lo si riscalda fino alla cessazione della schiumeggiatura ad una temperatura che deve essere da 75 a 100 °C superiore a quella del punto di rammollimento secondo il metodo P.A. La durata del riscaldamento non deve superare 1 ora. Durante il riscaldamento occorre rimescolare la massa per ottenere un campione omogeneo.

Per eliminare eventuali bolle d'aria persistenti, si introduce il campione in un forno che deve essere mantenuto alla temperatura summenzionata. Questa operazione dovrebbe però durare il meno possibile, comunque non più di un'ora. La pellicola eventualmente formatasi sulla superficie deve essere eliminata.

La massa deve essere rimescolata accuratamente, affinché i materiali di carica eventualmente accumulati possano nuovamente distribuirsi in modo omogeneo nel campione.

Subito dopo vengono riempite le apparecchiature destinate alla prova.

3.1. - PUNTO DI RAMMOLLIMENTO SECONDO IL METODO CON PALLA E ANELLO (P.A.)

Tratto dalla Norma NEN 1013-KVBB 1962, prova 4 (Tecnicamente equivalente alla ASTM D 36-26; questo metodo concorda nel suo procedimento con la IP 58/56 fatta eccezione che col metodo IP la sostanza usata per il bagno viene agitata. Perciò i punti di rammollimento IP sono di circa 1,5 °C più bassi di

quelli che si ottengono col metodo ASTM)*.

I prodotti bitumosi non presentano un passaggio netto dallo stato solido a quello liquido. Come «punto di rammollimento» (e non «di fusione») secondo il metodo con palla e anello viene definita la temperatura alla quale un piccolo disco del materiale fissato ad un anello, in determinate condizioni di prova, acquista una determinata deformazione in seguito all'azione esercitata dal peso di una sfera.

Sono necessari (vedasi fig. B-1a)

Piastre di rame e di vetro

Anelli di rame (conici o provvisti di sede, vedasi fig. B-1b).

Gli anelli sono provvisti di un incavo, di modo che possono essere introdotti nell'apertura della piastra del telaio. Per i prodotti aventi un punto di rammollimento fino a 80 °C compresi, si possono anche usare anelli cilindrici, nel qual caso il diametro interno è di $15,9 \pm 0,1$ mm.

Sfere d'acciaio prive di ruggine, aventi un peso di $3,50 \pm 0,05$ g, con un diametro di circa 9,5 mm.

Telaio (fig. B-1c) - Esso sostiene gli anelli in modo che il loro margine inferiore venga a trovarsi 25,4 mm al di sopra della piastra inferiore. Il termometro deve essere appeso in modo che, senza toccare la piastra, si trovi ad una distanza di circa 6 mm dagli anelli, sicché la parte inferiore del bulbo col mercurio si trovi alla stessa altezza del margine inferiore dell'anello. In questo telaio deve essere applicato un dispositivo per poter, nel caso di bitumi molto duri, tenere le sfere al centro dell'anello caricato (dispositivo per centrare la sfera).

Un bicchiere di vetro di capacità di 600 ml.

Un termometro C, secondo il punto 7 dell'«Appendice», per esaminare i bitumi aventi un punto di rammollimento fino a 80 °C compresi.

Un termometro D, secondo il punto 7 dell'«Appendice», per esaminare bitumi aventi un punto di rammollimento superiore agli 80 °C.

Glicerina: densità a 25 °C = $1,26 \text{ g/cm}^3$.

* Il Comitato ASTM D4 raccomanda una prova più recente, che ha pubblicata con la denominazione: ASTM D 2398 - 6 ST. (Designazione IP: 198/66 T) (n.d.r.).

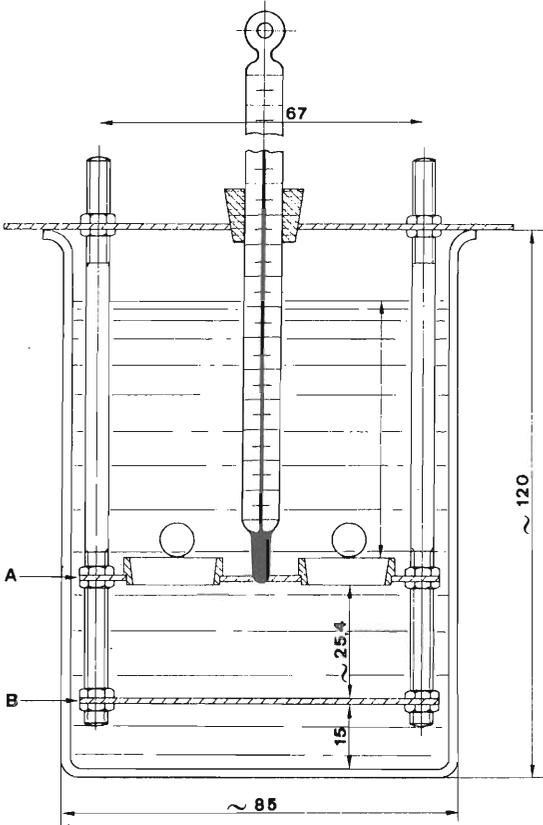


Fig. B-1a - Punto di rammollimento palla-anello.

Antiadesivo: miscela spalmabile, consistente di 60 parti in peso di glicerina e 40 parti in peso di talco.

PROCEDIMENTO

Affinché il bitume non aderisca alla piastra, questa deve essere spalmata con un leggero strato di sostanza antiadesiva. Gli anelli, riscaldati ad una temperatura di circa 125 °C, vengono messi sulla piastra del telaio e riempiti con il bitume preparato (prova 3.0.).

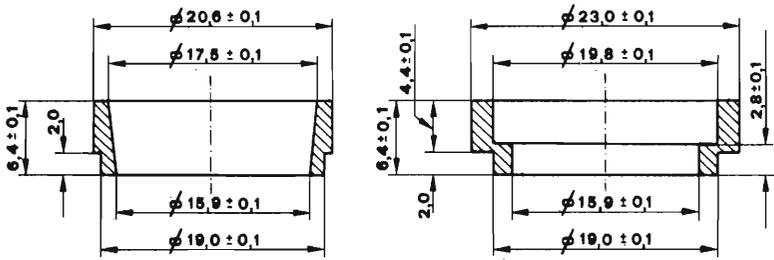


Fig. B-1b - Anelli di rame.

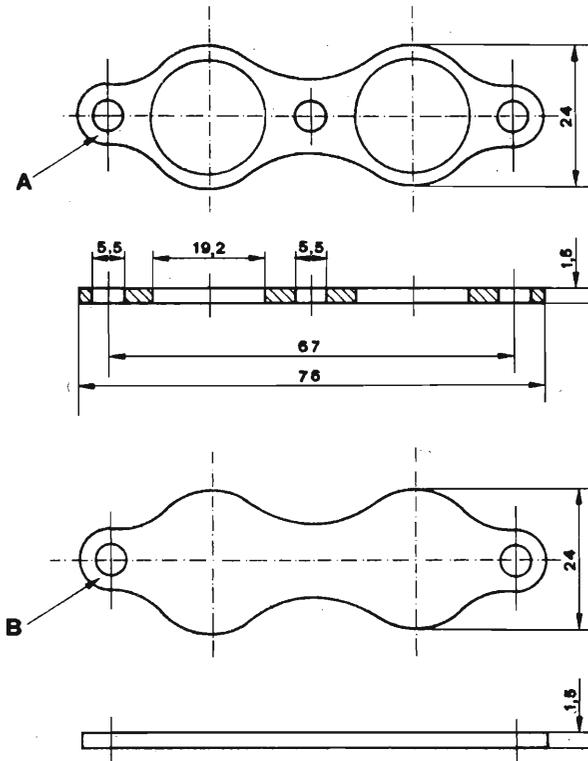


Fig. B-1c - Telai.

Si fanno raffreddare le piastre e gli anelli per 30 minuti, fino a raggiungere la temperatura di 15-18 °C. Indi si taglia il bitume con un coltello caldo lungo il margine superiore dell'anello, si staccano gli anelli dalla piastra e si mettono nell'apparecchio. Il metodo per proseguire la prova dipende dal punto di rammollimento del bitume.

Bitumi aventi un punto di rammollimento fino a 80 °C compresi.

Si riempie il bicchiere fino a 50 mm al di sopra del margine superiore dell'anello con acqua distillata alla temperatura di 5 °C, bollita da poco tempo. Si appende il termometro in modo che la parte inferiore del bulbo di mercurio si trovi alla stessa altezza del margine inferiore dell'anello.

Dopo che gli anelli sono rimasti nell'acqua a 5 °C per 15 minuti, si mettono le sfere al centro del disco di bitume e si aumenta la temperatura dell'acqua ad una velocità uniforme di 5 °C/min.

Dopo i primi tre minuti questa velocità non dovrebbe scartare di più di 0,5 °C/min della velocità prescritta; in media però essa non deve superare i 5 °C/min. La temperatura deve essere letta con una precisione di 0,1 °C appena il materiale bituminoso ha raggiunto la piastra inferiore. Quale punto di rammollimento è considerata la media delle temperature lette per i due anelli (vedasi nota). Non si apportano correzioni per tener conto della parte del termometro emergente dall'acqua.

Il risultato viene fornito in °C, arrotondato a 0,5 °C.

*Tolleranza della prova**: ± 1 °C.

Bitumi aventi un punto di rammollimento superiore agli 80 °C.

La prova viene eseguita come la precedente, però con le seguenti varianti. Viene usata la glicerina in luogo di acqua calda; la temperatura di partenza deve essere di 35 °C, anziché di 5 °C. Il bagno di glicerina viene portato a tale temperatura, prima che sia introdotto l'apparato.

*Tolleranza della prova**: ± 2 °C.

NOTA - È raccomandabile l'uso di acqua distillata bollita di recente perché diversamente si formano bolle di aria, che si depositano sul bitume e influiscono sull'esattezza dei risultati. Inoltre occorre attenersi scrupolosamente all'aumento di temperatura pre-

* Nell'introduzione al paragrafo K si definisce «tolleranza della prova» lo scostamento massimo ammesso per prove condotte in condizioni standard da differenti persone in laboratori diversi (*n.d.r.*).

scritto, essendo esso, in questa prova, di importanza determinante. Perciò il procedimento con 2 provini di uno stesso campione non deve essere considerato come due determinazioni distinte.

3.2. - PENETRAZIONE

Tratto dalla Norma NEN 1013-KVBB 1962, prova 5.
(Tecnicamente equivalente alla IP 49/58 e alla ASTM D5-61).

Durante questa prova viene misurata, in decimi di millimetro, la profondità verticale di penetrazione di un ago standard, che si verifica in determinate condizioni. Se non ci sono indicazioni contrarie, questa prova viene eseguita a 25 °C con un carico totale di 100 g per una durata di 5 secondi.

Sono necessari:

Un ago di penetrazione cioè un ago d'acciaio molto liscio, lucido e temprato, costituito da un corpo perfettamente cilindrico con una punta avente forma tronco-conica, fissata coassialmente in un manicotto cilindrico di ottone (eccentricità massima a 12 μ). Le dimensioni sono indicate in fig. B-2. Il peso dell'ago di penetrazione (ago e manicotto) deve essere di $1,75 \pm 0,10$ g; sul manicotto allo scopo di identificazione deve essere applicato un numero. Gli aghi dopo l'uso devono essere sempre puliti con ovatta e toluolo e poi conservati in vaselina. Non si devono usare aghi che presentano tracce di ruggine e altro danneggiamento; è perciò necessario un controllo periodico con il microscopio.

Mediante il *penetrometro* avente una graduazione di 0,1 mm, è possibile far penetrare l'ago nel campione in modo esattamente verticale senza attriti notevoli; il carico complessivo deve essere di $100,00 \pm 0,25$ g (ago di penetrazione e porta ago).

Un recipiente per i provini costituito da un contenitore metallico senza saldatura di forma cilindrica, col fondo piatto. Il diametro è di 55 mm e l'altezza è di 35 mm (tipo basso).

Un bagno termostatico con una capacità di almeno 10 litri di acqua, e regolato ad una temperatura di $25,0 \pm 0,1$ °C; in esso si trova una piastra metallica perforata, applicata ad una distanza dal fondo di almeno 50 mm. L'altezza deve essere scelta in maniera che i provini possano essere immersi ad una profondità di almeno 100 mm.

Un piccolo recipiente con fondo piatto (sia internamente che esternamente) preferibilmente in materiale isolante, avente un diametro di circa 120 mm ed un'altezza tale che il recipiente per i

provini possa essere completamente immerso nell'acqua.

Un *temporizzatore* mediante il quale si può regolare la durata di penetrazione a $5,0 \pm 0,2$ secondi.

Un *termometro E*, secondo il punto 7 dell'«Appendice», per il bagno termostatico.

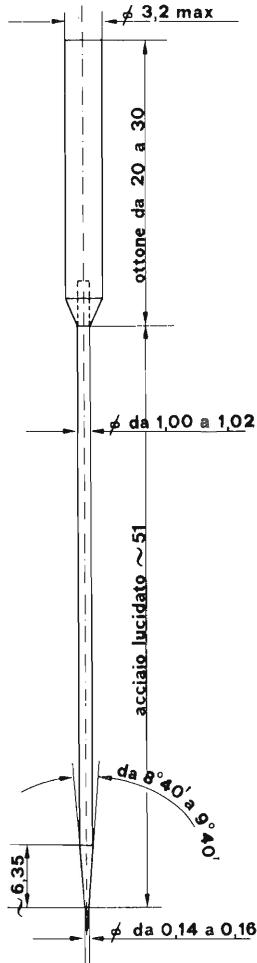


Fig. B-2 - Ago di penetrazione.

PROCEDIMENTO

Il campione preventivamente preparato e ancora sufficientemente liquido (prova 3.0.) viene versato, in modo da evitare la formazione di bolle d'aria, nel recipiente per i provini fino a 2,3 mm dal bordo (prova 3.0.). Indi si procede al raffreddamento (evitando il contatto diretto con superfici metalliche) per 1 ora ad una temperatura ambiente di $18 \div 25$ °C, facendo attenzione che polvere od altre impurità non finiscano sul provino. Si collocano quindi il recipiente per i provini e il recipiente con fondo piatto sopra la piastra perforata (almeno 100 mm al di sotto del pelo dell'acqua) nel bagno termostatico, lasciandoveli per 1 ora. In seguito il recipiente per i provini viene trasferito nel recipiente a fondo piatto, che a sua volta si pone sul piedistallo del penetrometro. Si pulisce poi l'ago di penetrazione con toluolo e ovatta; facendo poi attenzione che l'ago di penetrazione e il porta-ago siano puliti ed asciutti si fissa l'ago di penetrazione nel porta-ago. Si regola poi l'ago in modo che la sua punta tocchi appena la superficie del provino; ciò si può controllare, ad esempio, osservando la punta dell'ago e la sua immagine riflessa dalla superficie del bitume. L'asta dell'apparecchio indicatore viene posta a contatto col porta aghi e si legge la posizione dell'indice. In seguito si lascia che l'ago penetri nel bitume per 5,0 secondi. L'asta dell'apparecchio indicatore viene di nuovo portata a contatto col porta-aggi e si esegue una nuova lettura della posizione dell'indice. La profondità di penetrazione viene ricavata quale differenza di queste due letture in decimi di millimetro. Vengono effettuate per lo meno 3 determinazioni singole nello stesso recipiente per i provini, ognuna in zone distanti almeno 10 mm dalla parete e tra di loro. Vengono usati almeno tre diversi aghi di penetrazione e, mentre si introduce un nuovo ago, si ripone di nuovo nel bagno termostatico il recipiente col fondo piatto e il recipiente per i provini. Non si tiene conto del risultato se durante la misura il recipiente per i provini viene comunque spostato.

La penetrazione si ottiene quale valore medio fra almeno 3 determinazioni singole, i cui valori non devono differire tra loro più di quanto indicato nella tabella sottostante.

Penetrazione (calcolata quale valore medio)	Differenza massima tollerata tra il valore massimo e minimo delle singole determinazioni
0 - 30	2
31 - 75	3

Il risultato è dato in decimi di millimetro, arrotondato al valore intero più prossimo.

Tolleranza della prova per penetrazioni $< 50 : \pm 2$ unità assolute.

Le determinazioni in parallelo, contrariamente a quanto indicato nella introduzione di questo paragrafo *, non devono differire di oltre 1/4 del suddetto limite degli errori di prova.

3.3. - PUNTO DI ROTTURA SECONDO FRAASS

(Basato sulla prova IP/80/53 e sulla DIN 1995 - U 6 - 1960).

Il punto di rottura secondo Fraass è la temperatura alla quale il bitume diventa fragile; ciò accade, per esempio, quando un sottile strato di bitume applicato su una lastrina di metallo si rompe se sottoposto a piegatura secondo procedimenti standard.

Sono necessari (figura B-3):

L'apparecchio di piegatura: consiste di 2 tubi concentrici *A* di materiale non conduttore, i quali alle loro estremità esterne sono provvisti di una griffa *B*. La parte del tubo interno compreso tra le due griffe è provvista di intagli cosicché il bulbo di mercurio del termometro può essere posto a diretto contatto con lo spazio di prova. Il tubo interno può essere fatto scorrere in quello esterno girando la manovella *C*. La distanza massima tra le griffe è di $39,95 \pm 0,05$ mm e lo spostamento che si può conferire alla griffa inferiore (nel tubo interno) è di $3,5 \pm 0,2$ mm. Di tanto in tanto si deve controllare se la distanza massima tra le due griffe ($39,95 \pm 0,05$ mm) e lo spostamento della griffa inferiore ($3,5 \pm 0,2$ mm) sono rimasti invariati. Per tali misure di controllo si deve inserire nell'apparecchio una piccola piastra.

Un dispositivo di raffreddamento: l'apparecchio di piegatura viene inserito in un tubo di prova *E* più largo, al quale viene assicurato mediante un tappo di gomma forato eccentricamente. Questo tubo *E* è introdotto a sua volta in un corpo tubolare *G*, di dimensioni ancora maggiori, attraverso altro tappo di gomma *F* forato eccentricamente. Il complesso infine viene montato, tramite un grande tappo di gomma, in un contenitore cilindrico contenente una piccola quantità di cloruro di calcio anidro.

* L'introduzione citata stabilisce che le determinazioni effettuate in parallelo (cioè dalla medesima persona nello stesso laboratorio) non debbono differire di oltre la metà della tolleranza ammessa per la prova (vedasi nota precedente) (*n.d.r.*).

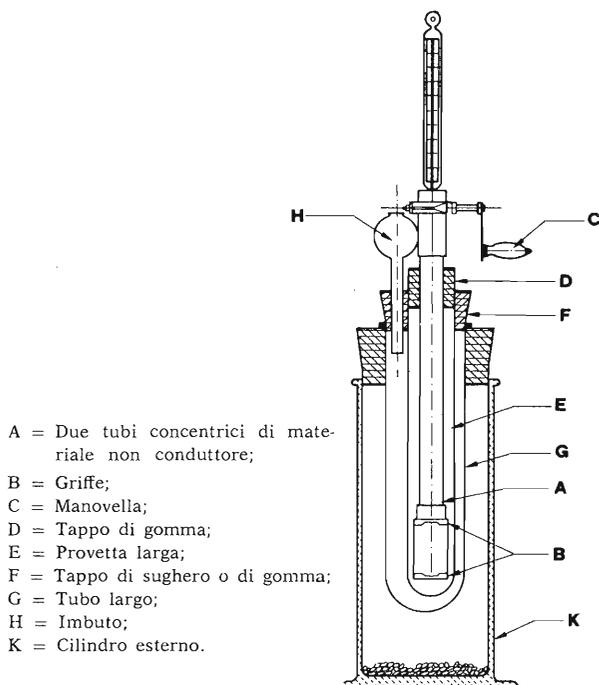


Fig. B-3 - Punto di rottura secondo Fraass.

Il corpo tubolare *G* ed il cilindro *K* possono essere sostituiti da un recipiente di Dewar non argentato di opportune dimensioni. Durante la prova si ottiene un graduale raffreddamento nel corpo tubolare *G*. Questo risultato si può ottenere, per esempio, sia riempiendo parzialmente il corpo tubolare *G* con etanolo e introducendo attraverso il piccolo imbuto *H* neve di anidride carbonica, sia riempiendo il corpo tubolare *G* con pentano e facendovi scorrere un flusso di aria secca (in questo ultimo caso l'imbuto deve essere sostituito da un apposito tubo di ingresso).

Due termometri A e B (secondo il punto 7 dell'«Appendice»).

Piastrine di acciaio inossidabile perfettamente piane, con una lunghezza di $41,00 \pm 0,05$ mm, una larghezza di $20,0 \pm 0,2$ mm e uno spessore di $0,15 \pm 0,02$ mm.

Una piastra di rame

La pressa di Jost (fig. B-4): consiste di una piastra di base con un ponte e due blocchi di pressione metallici delle dimensioni di $100 \times 72 \times 20$ mm. Il blocco di pressione inferiore è montato sulla piastra base tramite una lastra di materiale non conduttore avente la stessa dimensione del blocco di pressione. La superficie di pressione di questo blocco è provvista di un incavo con dimensioni $72 \times 60 \times 0,7$ mm. Il blocco di pressione superiore è fissato ad una piastra metallica sovrastante tramite uno strato di materiale non conduttore. Alla stessa piastra è collegato un albero filettato che può essere ruotato a mano, passante attraverso il ponte. Tra i blocchi di pressione ed il materiale non conduttore sono inserite le resistenze elettriche per il riscaldamento, collegate ad un trasformatore regolabile, in modo da ottenere nei blocchi di pressione temperature variabili. I blocchi di pressione sono provvisti di sedi nelle quali si possono introdurre i termometri A.

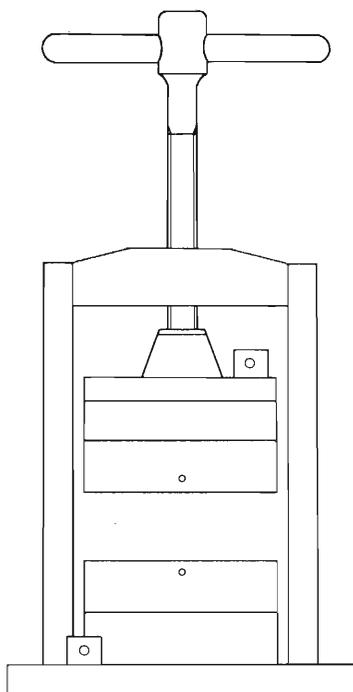


Fig. B-4 - Pressa di Jost (schema).

Un trasformatore regolabile: deve essere di tipo adatto alle resistenze elettriche nella pressa.

Fogli di cellofan avente uno spessore di 0,05 mm.

Una piastra di preparazione ossia un dispositivo per il riscaldamento lento indiretto delle piastrine ricoperte di bitume. Questo dispositivo consiste di 2 piastrine di ferro, poste l'una sopra l'altra ad una distanza di circa 50 mm. La piastra superiore (con spessore di circa 5 mm) è collocata sopra un sostegno, provvisto di viti regolabili.

La piastra di ferro inferiore (spessore 1 ÷ 2 mm) viene riscaldata con la fiamma di un bruciatore.

Un bruciatore: consiste di un tubetto di vetro sottile stirato.

Sostanza antiadesiva: miscela spalmabile, consistente di 60 parti in peso di glicerina e 40 in peso di talco.

PROCEDIMENTO

Preparazione delle piastrine di prova

Nel caso di bitumi aventi punto di rammollimento o S.P. (softening point) superiore a 80 °C si deve procedere secondo il metodo *A* (con pressa).

Nel caso di bitumi aventi punto di rammollimento S.P. fino a 80 °C compresi, si può procedere col metodo *B*. In ambedue i casi si parte dalla preparazione preliminare del bitume (prova 3.0.).

Le piastrine pesate e pulite con toluolo, vengono depositate su una piastra di rame, in precedenza leggermente spalmata con la sostanza antiadesiva.

Metodo A

Si versa uno strato il più sottile possibile, di bitume fuso sopra le piastrine. Dopo il raffreddamento si pareggiano i margini mediante taglio. Indi i due blocchi di compressione vengono portati alla temperatura del punto di rammollimento S.P. della massa da esaminare. Si mette una piastrina tra due fogli di cellofan delle dimensioni di 100×100 mm e il tutto viene collocato nel centro dell'incavo del blocco di compressione inferiore; si può eventualmente aggiungere un ulteriore foglio di cellofan per assicurare il riempimento dell'incavo (questo è leggermente più profondo del necessario per assicurare un certo giuoco). Si abbassa il blocco di compressione superiore finché viene a toccare il cellofan e, dopo un minuto di attesa per lasciare sfuggire l'aria eventualmente racchiusa nello strato, si comprime il blocco superiore contro quello inferiore. Dopo 5 secondi si risolve il blocco superiore

e si toglie la piastrina col cellofan dalla pressa, indi, dopo un raffreddamento di 15 minuti, si stacca il cellofan dallo strato di bitume. Qualora il cellofan non si dovesse staccare dal bitume, si ponga il tutto in acqua gelata dopo di che il cellofan si staccherà facilmente dal bitume. Si asciuga la piastrina con carta per filtri, quindi si asporta mediante taglio il bitume in eccesso oltre i bordi della piastrina e si pesa per verificare lo spessore dello strato. Lo strato di bitume sulla piastrina deve risultare di $0,40 \pm \pm 0,01$ ml. Nel caso di bitumi con peso specifico da 0,99 a 1,07 g/ml a 25 °C si può ritenere che esso corrisponda a 400 ± 10 mg di bitume.

Metodo B

Si versa nella piastrina uno strato di bitume il più sottile possibile. Dopo il raffreddamento si asportano mediante taglio i margini e si raschia il sottile strato finché sulla piastrina rimane il giusto quantitativo di bitume (controllare mediante pesatura). Sulla piastrina devono esserci $0,40 \pm 0,01$ ml di bitume. Nel caso di bitumi con peso specifico da 0,99 a 1,07 g/ml a 25 °C, si può ritenere che esso corrisponda a 400 ± 10 mg di bitume. Per distribuire in modo uniforme la massa sulla piastrina e per ottenere una superficie liscia dello strato, si deve usare una piastra da preparazione. Si deposita la piastrina sulla piastra di ferro superiore che, mediante le viti di regolazione, viene resa perfettamente orizzontale. Indi si riscalda intensamente la piastra inferiore, in modo che il bitume si espanda in maniera uniforme su tutta la superficie della piastrina.

L'operazione di riscaldamento dura da 10 a 15 minuti; la temperatura deve aumentare con una progressione tale da ottenere uno strato di spessore uniforme e una superficie liscia. Qualora sulla superficie dello strato si formassero bollicine di aria, esse devono essere riscaldate dall'alto mediante una piccola fiamma ($4 \div 6$ mm), spostando rapidamente la stessa sulla superficie, per evitare il sovrariscaldamento.

Determinazione del punto di rottura

Quando le piastre preparate secondo il metodo A o B sono pronte per l'uso, devono essere utilizzate per la determinazione vera e propria non prima di 30 minuti, ma non oltre 4 ore.

Lo spazio tra i corpi tubolari E e G (ed eventualmente lo spazio tra E ed il recipiente di Dewar) viene riempito di etanolo, finché il livello del liquido venga a trovarsi almeno 20 mm al di sopra della piastrina di prova. Indi si fissa la piastrina tra le griffe dell'apparecchio; a tal fine risulta necessario incurvarla leg-

germente. Si introduce quindi l'apparecchio nel corpo tubolare E.

Il raffreddamento dello spazio compreso fra i corpi tubolari E e G deve avvenire ad una velocità tale che la temperatura scenda di 1 °C al minuto.

Partendo da una temperatura di almeno 10 °C al di sopra dell'eventuale punto di rottura, la piastrina viene piegata una volta al minuto e poi riportata nella posizione iniziale. Durante tale operazione la manovella viene girata alla velocità di 1 giro al secondo fino a toccare l'arresto; indi con la stessa velocità la si gira nel senso contrario. Non appena una o più fessure si formano sullo strato durante la piegatura si deve rilevare la temperatura; questa temperatura rappresenta il *punto di rottura*.

La determinazione deve essere ripetuta almeno 3 volte con piastrine preparate dallo stesso quantitativo di bitume liquefatto. I risultati delle tre determinazioni singole non devono scostarsi tra loro più di 3 °C. Quale risultato della prova si indica la media di queste tre determinazioni, arrotondate al valore intero più prossimo in °C.

Tolleranza della prova: ± 2 °C.

3.4. - PROVA DI SCORRIMENTO

Per scorrimento s'intende lo spostamento in millimetri della superficie di uno strato bituminoso in condizioni standard.

Sono necessari:

Piastre di prova: ossia piastre di ferro perfettamente piane della dimensione 200×100×3 mm.

Stampi per il getto costituiti da una piastra base di ferro e da quattro sbarrette. Le sbarrette vengono fissate mediante viti ai lati più lunghi della piastra base, che misura 220×130×15 mm (od anche di più, se si usano più stampi in combinazione). Le sbarrette più corte vengono fissate ai lati minori in modo tale che, ad una estremità della piastra, questa risulti non ricoperta di bitume per 300 mm (Fig. B-5a e B-5b).

Utilizzando sbarrette di spessore opportuno si possono esaminare strati di bitume aventi uno spessore di 2 o 5 mm.

Un coltello per distaccare largo 120 mm.

Un apparecchio per misurare lo scorrimento (ad esempio come in Fig. B-5c) costituito da una piastra di rame con una duplice piegatura ad angolo retto, in modo tale che possa abbracciare la lamiera ricoperta con uno strato di bitume di 2 o 5 mm di spes-

PÀTRON - Bologna

Prezzo . . . L. **5.500**

Rilegatura . > **500**

Totale L. 6.000

Cod. 1026 (5650)

