Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 49 (1957)
Heft: 2-3

Artikel: Zur Geologie der Hinterrheinwerke
Autor: Staub, Rudolf
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920824

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

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

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

Download PDF: 26.12.2025

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

Zur Geologie der Hinterrheinwerke

Von Prof. Dr. *Rudolf Staub*, ETH, Zürich

Die in Kürze zur Ausführung gelangenden Hinterrheinwerke umfassen nach der heutigen Konzeption das Gebiet zwischen dem obersten Avers, dem hinteren Madris, Valle di Lei, Innerferrera, Sufers, Bärenburg im Schams und Sils im Domleschg. Die vorgesehenen Stollen erreichen nebst den Druckschächten, die Fenster nicht eingerechnet, die respektable Länge von rund 46 km; dazu kommen die Sperrobjekte in Madris, Valle di Lei, Tgavrida/Innerferrera, Sufers und Bärenburg mit einer Summe der maximalen Mauerhöhen, die rund 300 m erreicht. Es sind damit Bauwerke in einem Umfang zu erstellen, bei dem die geologische Beschaffenheit des Untergrundes eine beträchtliche Rolle spielt.

Aus dieser Einsicht heraus sind bereits sehr früh, d. h. vor beinahe 40 Jahren schon, geologische Studien für diese Hinterrheinwerke in Auftrag gegeben worden; zunächst für das Avers, das vordere Madris und für Sufers, die später, mit der fortschreitenden Entwicklung der Projektideen, sukzessive erweitert worden sind, vor allem durch Studien über die Sperrstelle Splügen. Anfang 1947 wurden diese geologischen Studien neuerdings aufgenommen, nunmehr stets stärker ausgerichtet auf das jetzige Projekt und dasselbe in seiner Linienführung auch vielfach modifizierend. Diese Arbeiten wurden ausgeführt unter meiner Leitung im schweizerischen Abschnitt, in Arbeitsgemeinschaft mit Prof. *A. Desio*, Mailand, im italienischen Projektgebiet. Als meine Mitarbeiter sind zu nennen die Geologen *E. Weber*, *P. Nänny* und *J. Neher*. Die beiden erstgenannten bearbeiteten dabei von allem Anfang an auch geologische Fragen in Valle di Lei, J. Neher im besonderen das Becken von Sufers und dessen Umgebung. Die Zusammenarbeit dieser Geologengruppe war stets eine sehr erfreuliche; ich möchte jedoch bei dieser Gelegenheit nicht verfehlen, noch ganz besonders auch auf die ausgezeichnete Kollegialität hinzuweisen, die wir schweizerischen Geologen stets bei Prof. Desio fanden, und auf das weitgehende Vertrauen, das uns allen neben den schweizerischen Initianten auch die Società Edison in langen Jahren, seit 1948, immer entgegengebracht hat. Diese ersprießliche Zusammenarbeit wird auch während des Baues aufrecht erhalten bleiben, sicher zum Nutzen des Ganzen.

Das Gebiet der Hinterrheinwerke umfaßt einen Gebirgsraum von beträchtlicher geologischer Mannigfaltigkeit und bildet eine der kompliziertesten Regionen der Schweizeralpen. Dabei liegen nicht nur eine bunte Reihe sehr wechselvoller Gesteinskörper vor, sondern auch ein sehr unterschiedlicher Bau des Gebirges im einzelnen. Als Ganzes liegt hier, wie anderswo in den Rätischen Alpen, nicht ein bodenständig an Ort und Stelle gewachsenes, in der Tiefe fest verwurzeltes sog. autochthones Gebiet vor, sondern ein solches mit sehr beträchtlichem Überschiebungsbau. Ein solcher könnte an und für sich dank seiner gewaltigen Ausmaße ein recht weitgehendes Maß von Gesteinsschädigungen oder gar Gesteinszerstörungen bewirkt haben, in erster Linie sehr unliebsame Zerbrechungserscheinungen, mechanische Auflockerungen und damit auch unerwünschte Wasserdurchläßigkeiten des Gebirges. Die großartige Häufung der alpinen Überschiebungsmassen gerade auch in diesem Gebiet sorgte aber dafür, daß einerseits die über große Strecken hinwegbewegten Gesteinsmassen stets irgendwie knapp eingespannt blieben und nicht aus dem ganzen Bewegungssystem gewissermassen separat ausbrechen und damit wirklich auch *zer*brechen konnten, daß andererseits aber auch die durch die tektonischen Störungen entstandenen Gesteinsschäden gerade infolge dieser weitgehenden Einspannung der Gesteinskörper, aber auch durch chemische Prozesse, d. h. in erster Linie durch Rekristallisationsvorgänge im Gebirgsinnern, weitgehend wieder ausgeheilt wurden. Wohl gibt es über das ganze Gebiet verteilt auch wirklich schlechte Zonen mit gebrächem Gebirge, mit Möglichkeiten zu Wassereinbrüchen und dergleichen, im großen ganzen aber sind die Gesteinseigenschaften trotz eines sehr komplizierten Gebirgsbaues gerade dank den genannten Rekristallisationserscheinungen gute geblieben.

Das Gebiet der Hinterrheinwerke setzt sich nach seinen einzelnen Bauelementen geologisch wie folgt zusammen:

Es liegt durchwegs in der großen mittleren Gruppe der alpinen Überschiebungsmassen, d. h. im Raum der sog. penninischen Decken, die ihren Namen auf Grund ihrer großen Verbreitung in den Walliseralpen führen, die aber gerade auch in Graubünden eine maximale Entwicklung erlangen. Zervreila, Marmorera und Bergell liegen wie die Hinterrheinwerke in diesem penninischen System Bündens. Das ganze penninische Dekkensystem zerfällt dabei in drei Grundabteilungen, die übereinander gehäuft worden sind: die unter-, die mittel-, die oberpenninischen Decken. Das Gebiet der Hinterrheinwerke umfaßt Elemente aller dieser drei großen Haupteinheiten der penninischen Zone der Alpen.

Die Hauptmasse des Gebietes, vom hinteren Avers, Madris und Valle di Lei weg bis fast nach Zillis hinaus wird aufgebaut von den mittelpenninischen Gesteinsserien der sog. Suretta-Decke; die Strecke vom Reischenbach bis Sils besteht aus den tiefpenninischen Schiefern der obersten Adula-Decke, während wenig südlich des Reischenbaches in schmalem Zuge die oberpenninischen Elemente den großen Druckstollen queren.

I. Die Suretta-Decke

Die Hauptgesteine der Suretta-Decke des Projektgebietes gliedern sich in die alten Kernmassen derselben und die diese umhüllenden resp. überdeckenden oder mit ihnen verkeilten Sedimente. Dabei sind sowohl in den Kernmassen wie in den Hüllsedimenten als Untergruppen weiter zu unterscheiden:

a) *in der Kernmasse:*

1. vom Nordhang des Piz Miez, besonders aber im Norden von Val d'Emet bis über Pignieu, der sog. Rofnaporphyr oder Rofna-Gneiß, ein granitartiges Eruptivgestein, das auch unter der Bezeichnung Andeerer Granit bekannt ist.

2. Im Abschnitt südlich des Piz Miez — und auch über eine kurze Strecke in Val d'Emet —, die Glimmerschiefer und Gneiße der sog. Stella/Timun-Masse.

b) *in den Hüllsedimenten:*

1. die Trias:

Dieselbe umfaßt über basal gelegenen massigen oder tafeligen Quarziten eine Schichtfolge von oft stark marmorisierten Dolomiten und Kalken, daneben auch Breccien, in gewissen beschränkten Zonen auch Rauhwakkenbänder und Gipsnester.

2. der Jura:

Dieser liegt in zwei verschiedenen Ausbildungen vor: in Form von stark metamorphen Bündnerschiefern, mit Grünschiefer, Serpentin und ähnlichem, und in Form einer ausgesprochenen Marmorserie, in der auch Breccien, Quarzite und untergeordnet Tonschiefer vorkommen. Die erstgenannte Fazies findet sich im Avers und Madris, zur zweiten gehört, besonders im rechtsseitigen Schams, die sog. Marmorzone, die dort das Hauptelement der sog. «unteren Schamser Decken» bildet.

II. Die Adula-Decke

Dieselbe setzt sich im Werkgebiet ausschließlich zusammen aus Bündnerschiefern weniger metamorpher Art als jene des Avers, in ihrem Charakter vielmehr entsprechend jenen des Safientales. Wie diese setzen sie sich zusammen aus einer komplexen Schichtfolge von Kalkschiefern, Tonschiefern, Quarziten, Sandsteinen, Sandkalken in teils mächtigeren Horizonten, teils in unruhiger Wechsellagerung. Das alles zusammen bildet den Komplex der sog. Viamala-Schiefer. Sowohl Grüngesteine wie Triassedimente fehlen in dieser Zone.

III. Der Zug oberpenninischer Gesteine

im Gebiet südlich des Reischenbaches gehört der mittleren Hauptplatte der sog. Schamser Decken an; er umfaßt neben Dolomit und etwas Gneiß vor allem die sog. Taspinitbreccien von zum Teil sehr harter Qualität.

Im einzelnen ist in bezug auf diese Bauelemente folgendes festzustellen:

Im Werkgebiet des Avers herrschen die metamorphen *Bündnerschiefer* mit vereinzelten Grüngesteinszügen. Diese Schiefermassen liegen in Madris und Valle di Lei längs einer Schubfläche einem auffallenden Kalk/Dolomit- und Marmorzug auf, der *Suretta-Trias.* Dieselbe zeigt in Madris und Valle di Lei beträchtliche interne Zusammenstauung, sie liegt gleichfalls längs einer Bewegungsfläche dem nächsttieferen Komplex auf, d. h. dem *Glimmerschiefer-Gneißgebirge* der sog. *Stella-Masse.* Diese bildet zwischen Innerferrera und dem Bergell durchwegs die alte Unterlage der Suretta-Trias und der obgenannten Bündnerschiefer des Avers. In Valle di Lei ist dieselbe auch sekundär mit den ihr aufliegenden Triasmassen verkeilt, desgleichen und in noch erhöhtem Maße diese Trias und die Bündnerschiefer.

Schon in Valle di Lei, besonders aber vom Piz Miez nach Norden hin bis gegen Sufers und Bärenburg bilden solche Verkeilungen des kristallinen Kerns der Suretta-Decke mit seiner Trias-Umhüllung dann das eigentliche Hauptcharakteristikum im Gebirgsbau der Suretta-Decke. Dabei handelt es sich vor allem um Verkeilungen der Triassedimente mit dem *Rofnaporphyr,* dank welchen die primär einheitlich angelegte Rofna-Masse durch eine ganze Anzahl von Triaskeilen tektonisch scharf aufgegliedert wird in verschiedene große Sonderkörper. Die Triassedimente greifen nördlich Valle di Lei in vier schmalen Hauptzügen in das Suretta-Kristallin ein: im Keil des Piz Miez, jenem von St. Martin, dem Keil von Außerferrera und jenem von La Hütta nördlich davon. Alle diese vier Triaskeile, von denen wahrscheinlich der erste und der dritte über Val d'Emet in der Tiefe des Gebirges in oft unterbrochenem und losem Zusammenhang stehen, spielen für die Hinterrheinwerke eine bedeutende Rolle. Denn alle werden, mit Ausnahme vielleicht des nördlichsten, von den Stollen der Hinterrheinwerke gequert. Sie stellen für den Stollenbau besonders wichtige Abschnitte dar, einerseits wegen möglicher Wassereinbrüche, andererseits wegen ihres tektonisch gestörten Verbandes, der sich auch auf die unmittelbare Umgebung der Keile, d. h. auf die benachbarten Abschnitte des Rofnaporphyrs ausdehnen kann. Dazu kommen, aber sehr wahrscheinlich nur im Keil von Außerferrera, d. h. im Freispiegelstollen Ferrera—Sufers, auch poröse Rauhwacken in Zusammenhang mit Sulfatwässern ins Spiel. Die große Hauptmasse des genannten Freispiegelstollen-Abschnittes verläuft aber, wie der Druckstollen und der Druckschacht Valle di Lei—Ferrera, im meist ausgezeichneten Kristallingebirge.

Auf der Linie Sufers—Andeer—Pignieu verläuft die Außenfront des Suretta-Deckenkerns, im Becken von Sufers, knapp westlich der Sperrstelle. Vor dieser Kristallinfront häufen sich die *Suretta-Sedimente;* sie sind zudem auch aus dem Rücken des Suretta-Deckenkerns, d. h. vom Rücken der Rofnaporphyr-Masse, durch die höheren Schubkörper oberpenninischer Herkunft, noch besonders vorgeschürft und vor der Kristallinfront der Suretta-Decke noch kräftig zusammengestaut, d. h. tektonisch übereinander gehäuft worden. Diese zusammengestauten Schürfmassen bilden heute im Norden der Rofnaporphyr-Stirn die sog. «*Marmorzone*» des Schams. Da dieselbe deutlich den tieferen Bündnerschiefern der Viamala aufgeschoben ist, wie gleichermaßen auch der ihr tektonisch noch weiter aufgeladene Komplex der oberpenninischen Schubmassen des Schams, werden diese beiden Elemente als eigentliche *Schamser Decken* bezeichnet. Die «Marmorzone» des Schams gehört dabei zu den «unteren Schamser Decken»; die oberpenninischen Serien, die zwischen dem Piz Gurschùs, dem Reischenbach und den Splügener Kalkbergen eine ganze Anzahl großartiger und außerordentlich kompliziert gebauter Schubkörper bilden, werden zur sog. «Schamser Haupteinheit» zusammengefaßt; sie bilden die «mittleren Schamser Decken». Über dieselben legen sich, ihrerseits denselben überschoben, die mächtigen Flyschmassen des Curvèrgebietes als die «oberen Schamser Dekken» und über dieselben endlich abermals höhere Schubmassen im Curvèrgebiet, die zum Deckenkomplex des Piz Platta gehören und ihrerseits das praktisch oberste Element im penninischen Deckensystem Bündens bilden. Für die Hinterrheinwerke sind diese höheren Gebilde nur insofern von Belang, als durch deren Vorschub der Gesteinszustand der darunter liegenden mittleren und unteren Schamser Decken tangiert wurde. Denn diese letztgenannten Elemente sind unter diesem Vorschub der höheren Schamser- und Platta-Schubmassen zum Teil regelrecht ausgewalzt, zum Teil vielfach zu einzelnen Scherben zerschnitten oder an anderen Stellen wieder tektonisch übereinander gestapelt worden.

Für die Hinterrheinwerke ist hier von besonderer Wichtigkeit der nähere Charakter der *Schamser Marmorzone*, weil der große Druckstollen der dritten Stufe Bärenburg—Sils nach Durchfahren der frontalen Rofna-Gesteine des Suretta-Deckenkerns gerade diese Marmorzone auf gegen 2 km Länge zu durchfahren haben wird. Die nähere geologische Prognose ist hier, infolge weitgehenden Fehlens von offen erkennbaren Aufschlüssen sehr erschwert. Die Schichtreihe dieser Zone besteht aus Trias — in Form von Dolomit, Rauhwacke, Gips und Schiefern — unterem Jura — mit Kalken, Kalkschiefern, Breccienlagen und Tonschiefern — oberem Jura — mit mächtigen weißen und bunten Marmoren — sowie aus Kreide — in Form von Kalkschiefern, Kalken, Breccien, Quarziten und Tonschiefern —. Stollenbautechnisch fällt besonders die nähere Ausdehnung der Trias und deren örtliche Zusammensetzung im Stollengebiet ins Gewicht; aber gerade in dieser Beziehung ist eine genauere Voraussage, eben infolge mangelnder Aufschlüsse in jenem Gebiet, durchaus problematisch geblieben. Wohl lassen sich die Falten dieser Marmorzone noch recht gut erkennen, aber es genügt eine nur sehr kleine Schwankung im Achsengefälle dieser Falten, daß der Druckstollen hier in der Trias, d. h. in eher prekärem Gebirge, oder im Jura und damit in ungleich besseren Verhältnissen verlaufen wird.

Auch eine bindende Rekonstruktion der genaueren Einzelzonen der *Schamser Hauptschubplatte* im Gebiete südlich des Reischenbaches ist nur mit einiger Reserve zu geben, doch fällt dies hier deshalb viel weniger ins Gewicht, weil es sich nur um eine relativ schmale Zone handeln kann, von der immerhin auf Grund der nächsten Oberflächenaufschlüsse angenommen werden darf, daß die guten Abschnitte überwiegen.

Nördlich dieser Schamserdecken-Elemente tauchen dann, wenig südlich des Reischenbaches, die *Viamala-Schiefer* unter denselben empor. Sie bilden das Stollengebirge bis zum Wasserschloß Sils und halten auch durch den ganzen Druckschacht-Abschnitt bis zur Zentrale Sils an.

In diesen hier nur summarisch behandelten geologischen Rahmen sind die Hinterrheinwerke projektiert (Abb. 1/5). Sie haben sich zwar einerseits mit dem naturgegebenen Untergrund als solchem abzufinden, aber es darf anderseits doch mit Genugtuung festgestellt werden, daß die konkrete Projektierung sich sehr weitgehend den Ergebnissen der geologischen Untersuchungen angepaßt hat. Das gilt im Prinzip für die ganze Linienführung der Stollen und Druckschächte, vom Avers und Madris bis nach Sils, das gilt von den Sperrstellen, im besonderen für jene in Valle di Lei, das gilt schließlich auch für die nähere Anordnung der Zentralen, wiederum besonders für jene der obersten Stufe. Das war möglich auf Grund einer stets verständnis- und vertrauensvollen Zusammenarbeit zwischen den projektierenden Ingenieuren und den Geologen, über die ganze beachtliche Zeitspanne von nunmehr 10 Jahren, und zwar von allem Anfang an und dies- und jenseits der Landesgrenze. Daß dies ohne jede auch nur zeitweise Trübung über so lange Zeit möglich gewesen ist, gestaltet den Rückblick auf diese Jahre der Vorbereitung der Hinterrheinwerke zu einer frohen und dankbaren Erinnerung.

Zur Geologie der Einzelobjekte zwischen hinterem *Avers* und *Sils* ist kurz folgendes zu sagen:

1. Die *Fassung des Jufer- und des Bregalgarheins* mußte aus geologischen Gründen an die heutige Stelle verlegt werden, um einer großen und stets noch mobilen Sackung in den Bündnerschiefergehängen auszuweichen.

2. Der *Zuleitungsstollen nach dem Madrisertal* verläuft zur überwiegenden Hauptsache in gutem Stollengebirge: zunächst in Bündnerschiefer mit Grüngesteinseinlagerungen und vereinzelten Serpentinlinsen; daraufhin über eine Strecke, die noch genauer abzuklären sein wird, in Dolomiten, Kalken und Quarziten der Suretta-Trias und schließlich im Gneißglimmerschiefergebirge der Stella-Masse. Wasserzügige Zonen sind in der Trias und an deren Basis zu erwarten.

3. Für das *Ausgleich- und Fassungsbecken Preda* in Madris ist eine günstige Sperrstelle vorhanden, im eben genannten kristallinen Gebirge.

4. Der *Überlaufstollen von Preda nach Valle di Lei* verläuft, vielleicht nach kurzem Voreinschnitt, durchwegs im gleichen, d. h. im allgemeinen guten Stollengebirge des Stella-Kristallins. Dasselbe ist generell wasserdicht, doch mögen die vorhandenen Klüfte immerhin auf schmalen Zonen etwelchen Wasserzufluß bringen.

5. Das große *Becken in Valle di Lei* liegt — mit einer bekannten Ausnahme gegenüber St. Anna —, bis auf die vorgesehene Stauhöhe hinauf im undurchlässigen Kristallingebirge der Stella-Masse. Im erwähnten Sonderabschnitt kommen Triaskalke und Dolomite mit dem Stausee in Berührung. Zur Abklärung der näheren Verhältnisse wurden bereits umfangreiche Sondierbohrungen mit Abpreßversuchen durchgeführt, nebst einem kurzen Sondierstollen. Die Abpreßversuche oder zum Teil auch nur schon die Bohrungen allein ergaben in diesen Kalken Wasserverluste; doch kann angenommen werden, daß dieselben in erster Linie gegen das nahe Becken zu stattfanden, in den oberflächlich durch die Verwitterung etwas zerrütteten Kalken. Ein Verlustweg gegen das Madrisertal scheint mir gemäß dem vorhandenen tektonischen Bau zwar nicht ganz ausgeschlossen, aber doch nicht sehr wahrscheinlich. Doch müssen mindestens «potentielle» Verluste nach dieser Richtung immerhin als im Bereich gewisser Möglichkeiten liegend betrachtet und daraus die nötigen Konsequenzen gezogen werden. Diese Dinge und ihre eventuelle Ausschaltung sind zurzeit noch Gegenstand näherer Untersuchung. Es kann aber in jedem Falle damit gerechnet werden, daß das projektierte Becken in Valle di Lei absolut wasserdicht gestaltet werden kann, wenn es dies nicht überhaupt schon ist. Die angetönten weiteren Untersuchungen und Maßnahmen durchzuführen erachte ich, in voller Übereinstimmung mit Prof. Desio, lediglich als ein Gebot der Vorsicht für alle Eventualitäten. Sie können nicht Anlaß zu Beunruhigung sein, sondern entspringen lediglich dem notwendigen Streben nach völliger Abklärung noch nicht genau genug übersehbarer Tatbestände.

6. Die in Aussicht genommene *Sperrstelle in Valle di Lei* ist die einzige in diesem Tal in Frage kommende. Sie könnte linksseitig schöner sein und bedarf dort in ihren höheren Teilen noch weiterer Sondierungen. Die vor 10 Jahren vorgetriebenen Sondierstollen zeigten aber durchwegs soliden und wasserdichten Fels. In der rechten Flanke und auch im Talweg kann mit günstigen Fundationsverhältnissen und guter Dichtigkeit gerechnet werden. Die bereits beschlossenen Sondierungen für den Fundamentschlitz der Staumauer werden weiterhin

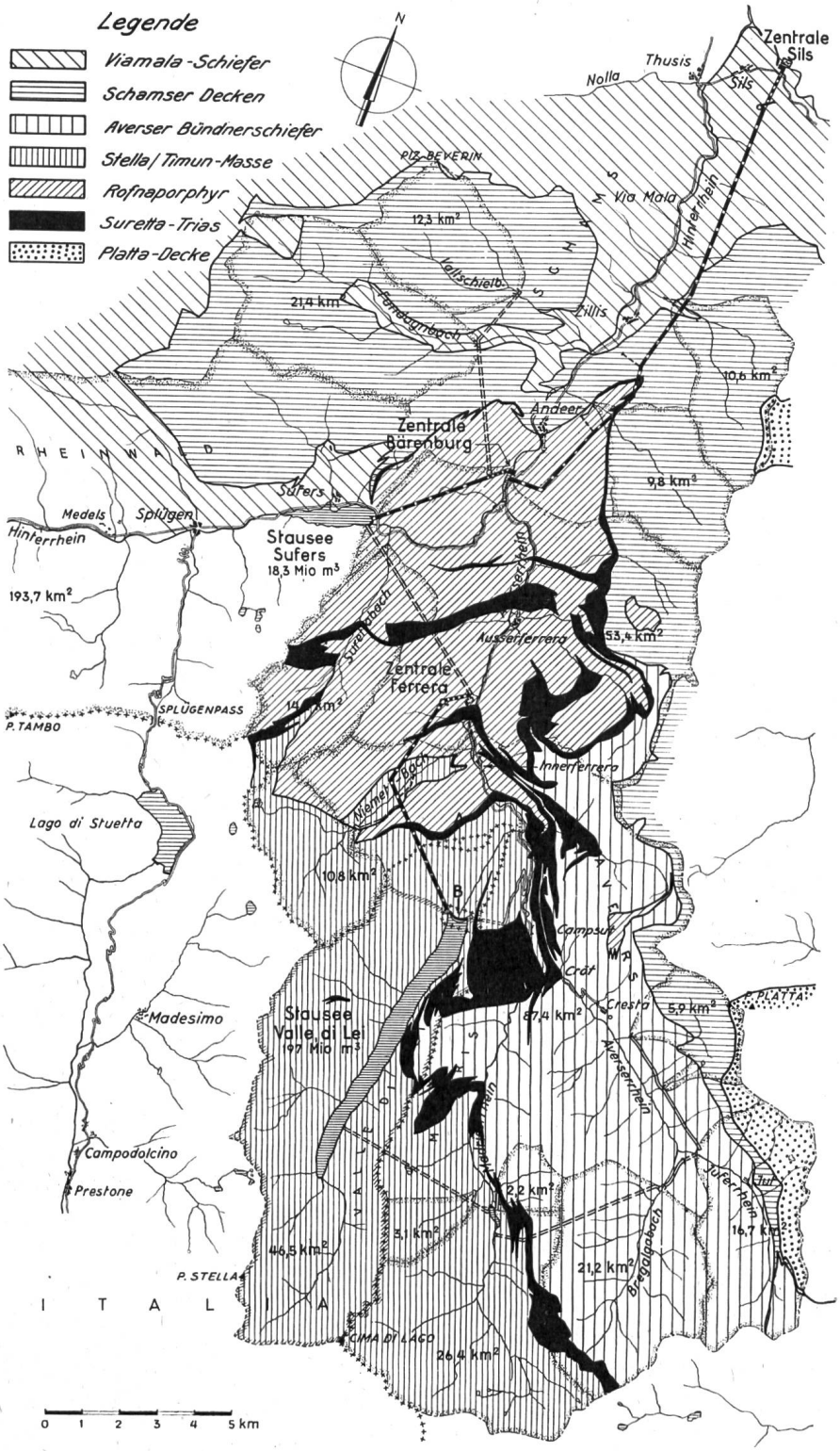


Abb. 1 Geologische Übersicht, Lageplan 1:200 000

unter geologischer Kontrolle stehen und die konkreten Verhältnisse klären. Es werden sich zwischen linker und rechter Talseite ähnliche Differenzen in bezug auf Klüftung und Injektionsbedarf zeigen wie im Falle Zervreila. Die noch nötigen Sondiervorschläge sind erst kürzlich von Prof. Desio und dem Verfasser dieser Zeilen der Società Edison zuhanden der Hinterrhein Kraftwerke unterbreitet und von denselben genehmigt worden.

7. Der *Straßentunnel zwischen Campsut und der Sperrstelle in Valle di Lei* kann mit wenigen Ausnahmen in günstiges Gebirge gelegt werden (Kristallin mit einem schmalen Triaszug).

8. Über die *Stollentrassen* sowie die *Druckschächte* geben die im Auszug hier mit Erlaubnis der Bauherrschaft reproduzierten Prognosenprofile (Abb. 2/5) hinreichend Auskunft. Alle diese Objekte sind weitgehend nach geologischen Gesichtspunkten trassiert worden und verlaufen mit wenigen, überhaupt nicht zu vermeidenden Ausnahmen in geologisch günstigem und zum Teil sehr gutem Stollengebirge. Das gilt für die Kristallinabschnitte zwischen Valle di Lei, Ferrera, Sufers und Bärenburg-Sils, das gilt aber auch für gewisse Triaskeile dieser Region; vor allem für jenen des Piz Miez, der nicht einmal sicher angeschlagen werden wird, und für den Keil von St. Martin; das gilt mit geringen Ausnahmen auch von den Viamala-Schiefern von Reischen abwärts bis und mit dem Druckschacht Sils, das gilt sehr wahrscheinlich sogar für große Abschnitte der Schamser Marmorzone im Abschnitt zwischen dem nicht näher bestimmbaren Ende der Rofnaporphyr-Strecke und dem Reischenbach.

Das Stollentracé ist natürlich nicht nur der Innenstruktur des Gebirges, sondern auch den gegebenen und unabänderlichen geologischen Phänomenen der Gebirgsoberfläche mit besonderer Sorgfalt angepaßt worden. Bergsturz-, Moränen- und Sackungsmassen werden vom gesamten Stollentracé bis auf zwei absolut unausweichliche Stellen völlig gemieden. Die erste dieser zweifelhaften Strecken betrifft vielleicht die erste Einlaufstrecke des Druckstollens in Valle di Lei, die sich anläßlich der vorzunehmenden Sondierarbeiten noch näher abklären läßt; die zweite liegt im allerletzten Abschnitt des Einlaufes des Freispiegelstollens in den Suferser See. Die an sich wohl sicher eher zweitrangigen, aber deswegen doch nicht einfach als ungünstig zu taxierenden Triasstrecken wurden nach Möglichkeit in der geringsten Breite der Triaskeile trassiert, doch wird vor allem der Zug von Außerferrera Sulfatwasser aus den dortigen Rauhwacken und möglicherweise über eine geringe Strecke auch etwas gebräches Gebirge bringen. Diese Strecke dürfte daher auch im Vortrieb kaum angenehm sein. Nicht auszuweichen war weiter besonders den Unsicherheiten in der Schamser Marmorzone, die sich abermals in erster Linie auf die dortige Triasstrecke beschränken. Auch das muß in Kauf genommen werden, ist aber im Gesamtsystem der Hinterrhein-Stollenbauten nicht von wesentlicher Bedeutung.

Die zu erwartenden Temperaturen halten sich in mäßigen Grenzen. Nach den bisher im Bergell oder bei den Zervreila-Werken gemachten Erfahrungen darf angenommen werden, daß im Druckstollenabschnitt Valle di Lei-Ferrera bei einer maximalen Überdeckung von 950 m mit Höchsttemperaturen von rund 35° gerechnet werden kann, beim Überleitungsstollen Ferrera-Sufers bei einer maximalen Überdeckung von 900 m mit Höchsttemperaturen von 35°, im Druckstollen Bärenburg-Sils bei einer maximalen Überdeckung von ± 850 m mit Höchsttemperaturen bis zu 30°.

9. Die *Druckschacht*-Abschnitte sind gleichfalls sorgfältig den geologischen Gegebenheiten angepaßt, sie können als günstig beurteilt werden.

10. Die *Kavernenzentrale Ferrera* liegt in ausgezeichnetem Rofnagneiß, sie kann geologisch durchaus sinngemäß gelegt werden.

11. Die Sperrstelle für das Ausgleichbecken *Tgavrida* entspricht der geologisch günstigsten dortigen Situation. Linksseitig wird etwas Blockschutt entfernt werden müssen, im übrigen kommt der Wehrkörper Tgavrida unterhalb Innerferrera in guten Rofnafels zu liegen.

12. Dasselbe gilt von der *Staumauer Sufers*, die abermals in enger Zusammenarbeit von Ingenieur und Geologe disponiert worden ist. Sie kommt in etwas schiefrigen und zum Teil auch etwas geklüfteten, aber durchaus soliden Rofnagneiß zu stehen, natürlich gleichfalls durchweg auf Fels, doch werden hier wohl vermehrte Injektionen notwendig sein.

13. Das *Becken von Sufers* ist wasserdicht, es wurde verschiedentlich absondiert.

14. Die *Sperrstelle Bärenburg* für das dortige Ausgleichbecken resp. die dortige Staumauer und damit die Lage der Zentrale liegt ebenfalls im Rofnagneiß, der gegen oben hin gleichfalls etwas stärkeren Injektionsbedarf fordern wird, im übrigen aber von ausgezeichneter Qualität ist. Ein dichter und gesicherter Abschluß ist daher hier durchaus gleichfalls gewährleistet.

15. Die *Zuleitungsstollen der westlichen Schamser Bäche* dürften zufolge ihres kleinen Profils keine nennenswerten Schwierigkeiten bringen, hingegen wird dem Einlauf des Valtschielbaches noch einige Aufmerksamkeit zu schenken sein.

16. Die *Stollenfenster* sind, so weit nötig, gemäß den geologischen Erfordernissen gewählt worden. Das gilt für das Fenster in Val d'Emet, vor allem aber für die Fenster im Schams, welche die zu erwartenden schwierigsten Stollenstrecken aufzuteilen haben. Von diesen Fenstern wird der Fenstervortrieb Pignieu mit etwas ungünstigeren Verhältnissen im blockigen oberflächennahen Rofnaporphyr zu rechnen haben.

17. Viele weitere Untersuchungen bleiben hier unerwähnt, so solche über Quellen, Grundwasserverhältnisse, Straßenbauliches, Zusatzstoffe, Zugangswege, Lawinenbeobachtungen und manches andere mehr, was gleichfalls in den Aufgabenkreis der Geologen beim Bau eines Kraftwerkes dieses Ausmaßes im Gebirge fällt.

Mit dem vorstehenden kurzen Bericht über die Geologie der Hinterrheinwerke glaube ich dem Wunsch des verehrten Redaktors dieser Zeitschrift gerecht zu werden. Möge ein guter Stern über dem begonnenen Werk stehen, an dessen Anfängen auch er mitgewirkt hat. Dankbarkeit und Verehrung aber gebühren in erster Linie dem unermüdlichen Vorkämpfer und Verfechter der Hinterrhein-Idee, dem unverwüstlichen Optimisten, Dir. *G. Lorenz*. Daß nach über 40 Jahren nun «sein» Hinterrheinwerk zur Ausführung kommt, wird und darf ihn mit hoher Freude erfüllen und wird ihn auch manche Enttäuschung und viele Rückschläge vergessen lassen.

Geologische Längenprofile 1 : 30 000
(Prof. Dr. R. Staub, Zürich; E. Weber, Maienfeld)

Abb. 2 bis 5 zum Artikel von Prof. Dr. R. Staub: «Zur Geologie der Hinterrheinwerke»

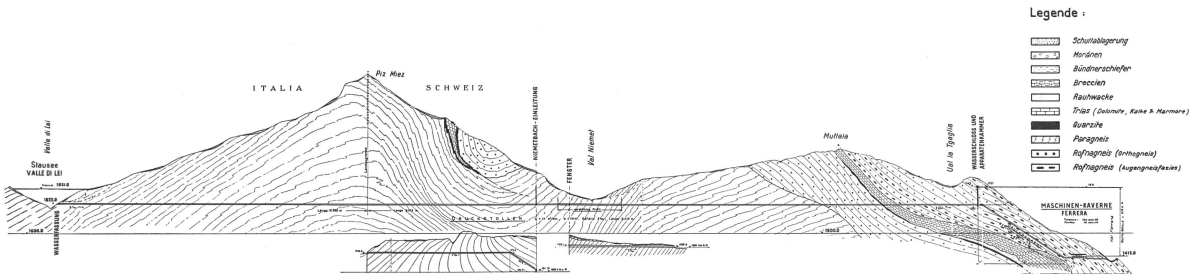


Abb. 2 Kraftwerkstufe Valle di Lei-Ferrera mit Zuleitung Niemetbach

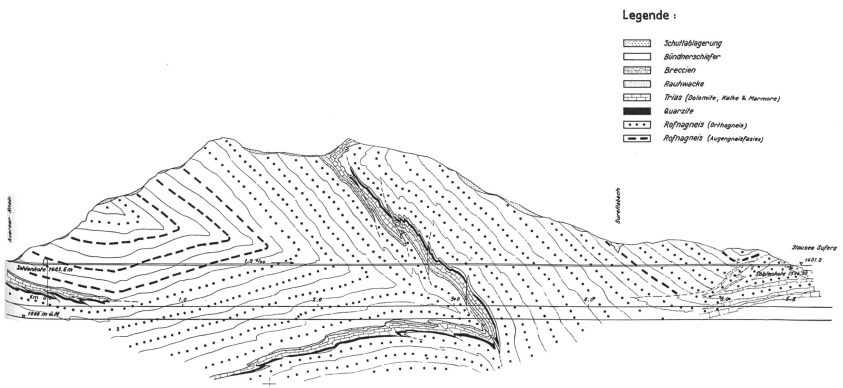


Abb. 3 Zuleitungs-Freispiegelstollen Ferrera — Stausee Sufers

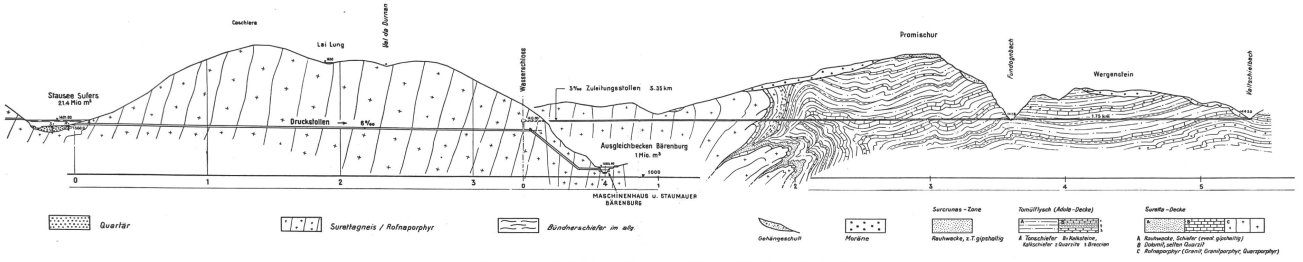


Abb. 4 Kraftwerkstufe Sufers — Bärenburg mit Zuleitung Valtschiel- und Fundognbach

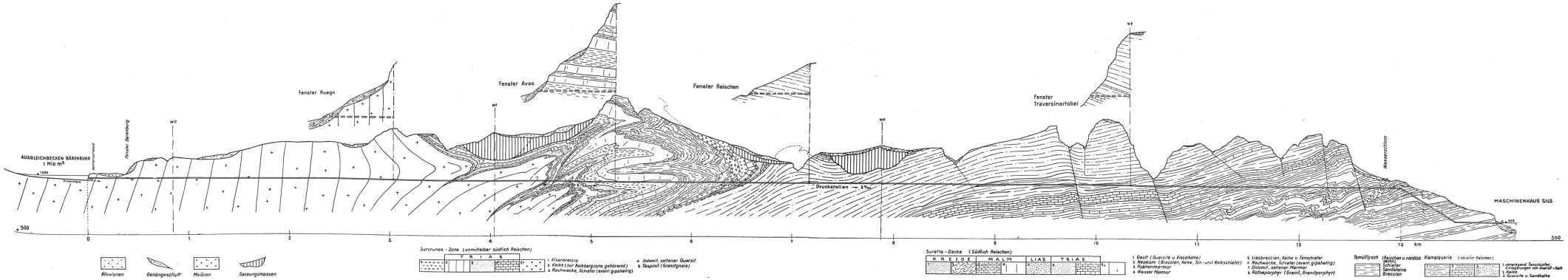
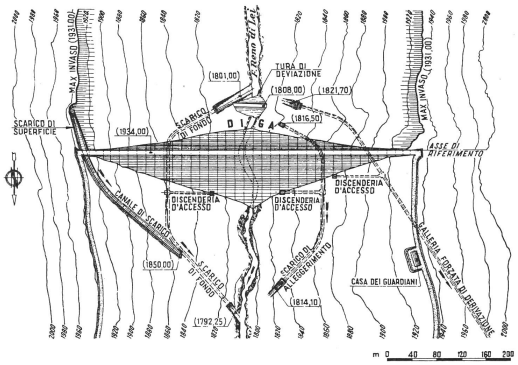


Abb. 5 Kraftwerkstufe Bärenburg — Sils

PLANIMETRIA



SEZIONE TRASVERSALE

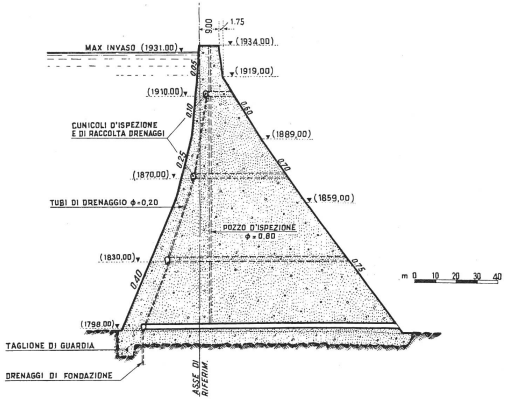
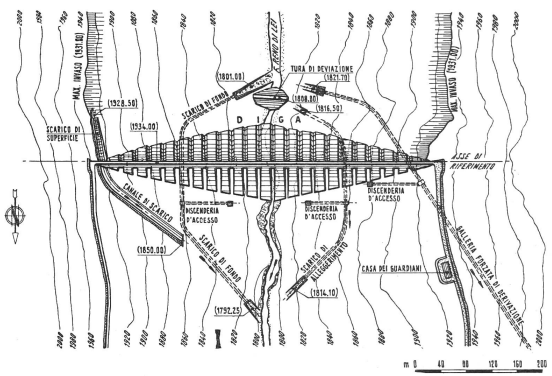


Fig. 1 Diga a gravità massiccia (secondo il regolamento italiano)

PLANIMETRIA



SEZIONE TRASVERSALE

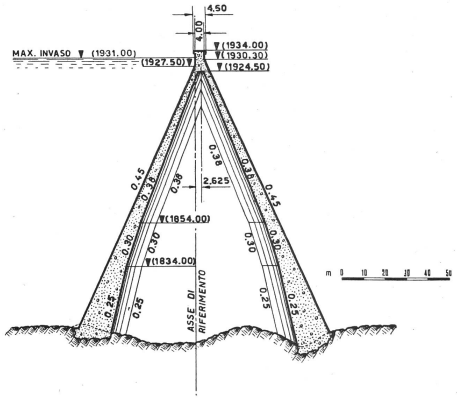


Fig. 2 Diga a gravità alleggerita ad elementi cavi tipo Marcello

PLANIMETRIA

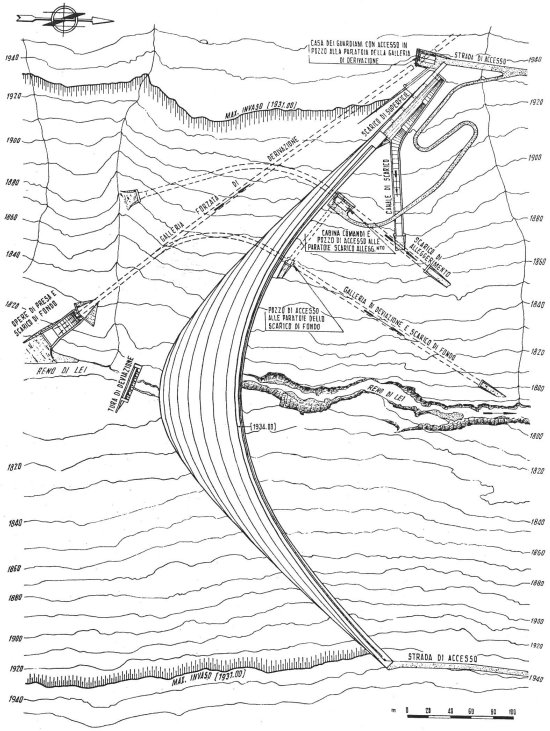


Fig. 3 Diga ad arco-gravità

(Fig. 1, 2 e 3, articolo: C. Marcello, «Diga sul Reno di Lei»)

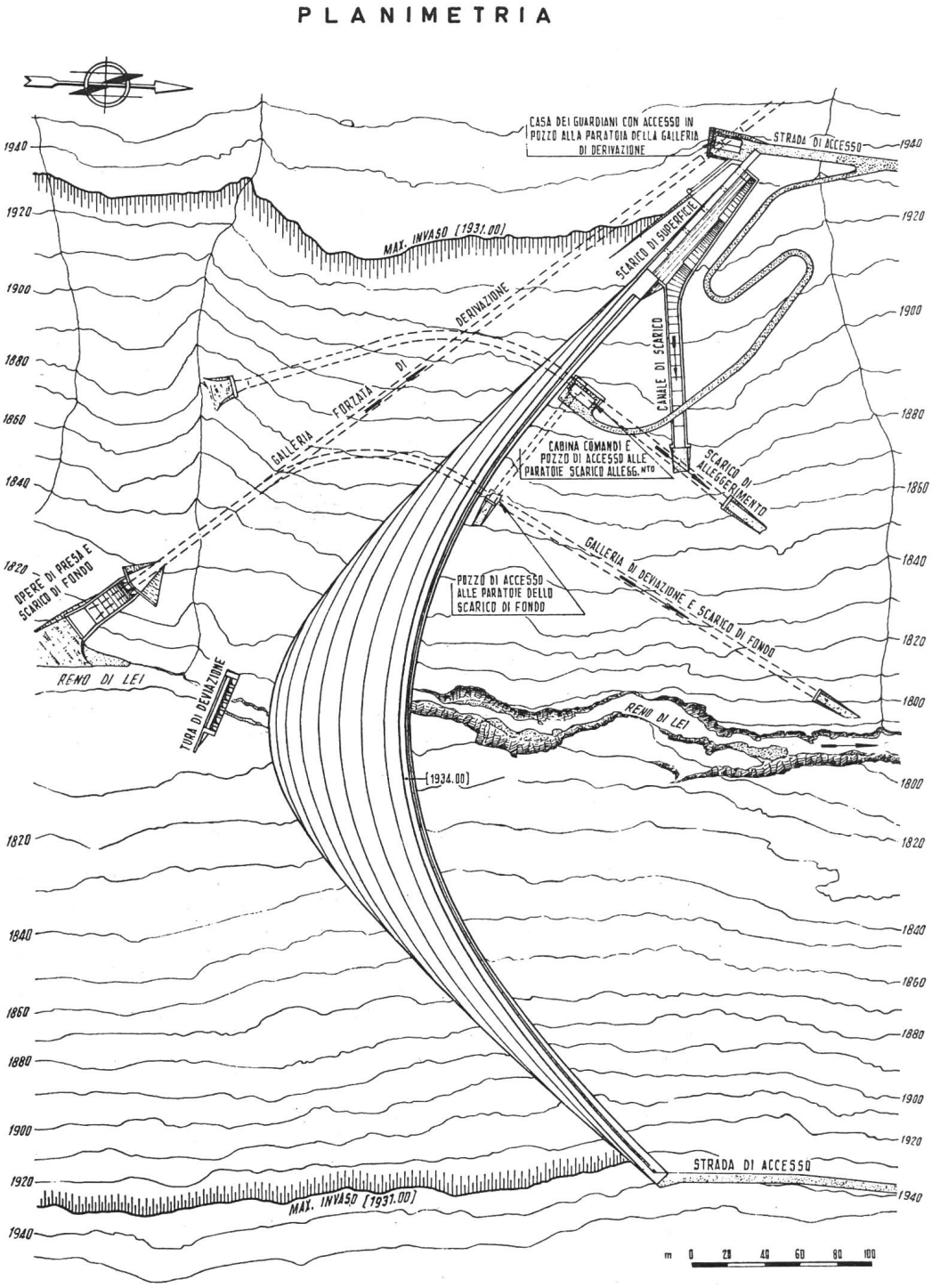


Fig. 3 Diga ad arco-gravità

(Fig. 1, 2 e 3, articolo: C. Marcello, «Diga sul Reno di Lei»)