COMMITTENTE	TIMBRO

AUTOSTRADA DEL BRENNERO S.p.A.

VIA BERLINO N°10 38100 TRENTO
PART. IVA 00210880225

PROGETTO

PROGETTO ESECUTIVO

RIFACIMENTO DEL SOVRAPPASSO AUTOSTRADALE N° 27 "S.C. EGNA" (PR. km 104+170) E DEL PONTE SUL FIUME ADIGE NEL COMUNE DI EGNA (BZ)

num.	data	aggiornamento	redatto	approvato
d				
c				
b				

CONTENUTO

RELAZIONI
RELAZIONE IDRAULICA

PROGETTISTA:

STUDIO DI INGEGNERIA
BAUINGENIEURBÜRO
DOTT. ING. MARIO VALDEMARIN
Bressanone, via Mercato Vecchio 21 Altenmarktgasse, Brixen (BZ)
tel. 0472-835576; fax 0472-836748; studio.valdemarin@rolmail.net

TIMBRO

Progetto: dott.ing. Mario Valdemarin
Verifica strutturale: dott.ing. Vittorio Gavoni
Carpenteria costruttiva: dott.ing. Dieter Schölzhorn

data	file	redatto	approvato	scala	cod. progetto	documento
14/03/2014	03/03/E00/	DS	MV1	–	0303	1.3.1

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL
Abt. 30, Wasserschutzbauten

PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO - ALTO ADIGE
Rip. 30, Opere Idrauliche

AUTONOUMUS PROVINCE OF BOLZANO - SOUTH TYROL
Dep. 30, Hydraulic Engineering

ADIGE-ETSCH

PONTE DI EGNA – BRÜCKE NEUMARKT

NUOVO PONTE DI EGNA

NEUE BRÜCKE VON NEUMARKT

RELAZIONE IDRAULICA

HYDRAULISCHER BERICHT

1 IDROLOGIA DI PIENA

1. HOCHWASSERHYDROLOGIE

1.1 Introduzione

Einleitung

Scopo dello studio idrologico, è la determinazione, sulla base dei dati disponibili, della portata di progetto. Si assume come piena di progetto la piena corrispondente al tempo di ritorno Tr = 200 anni.

Ziel der vorliegenden hydrologischen Studie ist die Bestimmung, aufgrund der vorhandenen Daten, des Bemessungsabflusses. Der Bemessungsabfluss wird mit einem 200 jährlichen Hochwasser angenommen.

1.2 Elaborazione statistica dei dati idrologici disponibili (massimi annuali)

1.2 Statistische Ausarbeitung der vorliegenden hydrologischen Daten (Jahresmaxima)

Per la stima della portata di progetto, marcata con tempo di ritorno Tr = 200 anni, si considerano i valori dei massimi annuali di portata misurati pressi l'idrometro più vicino, che risulta essere quello situato nella sezione idrometrica di Bronzolo. La serie temporale dei

massimi annuali di portata, riportata in tabella 1, viene elaborata statisticamente mediante la distribuzione di probabilità di Gumbel. Si dispone di un campione di 78 misure.

Zur Abschätzung des Bemessungsabflusses, welcher mit einer Wiederkehrszeit von 200 Jahren angenommen wird, werden die Abfluss – Jahresmaxima der nächsten Pegelmessstelle herangezogen, also jene der hydrometrischen Sektion von Branzoll. Die Zeitreihe der Abfluss – Jahresmaxima, wie in Tabelle 1 dargestellt, wird statistisch unter Zuhilfenahme der Wahrscheinlichkeitsverteilung von Gumbel ausgewertet. Man verfügt über eine Stichprobe mit 78 Messdaten.

Per la generica variabile aleatoria x, la distribuzione di Gumbel presenta le seguenti forme della densità di probabilità p(x) e della probabilità di non superamento P(x):

Für die allgemeine Zufallsvariable x, kann die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Gumbel sei es in Form einer Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung p(x) als auch als sog. Nicht – Überscheitungswahrscheinlichkeit angegeben werden.

$$p(x) = \alpha\, exp(-exp(-\alpha(x-u)) - \alpha(x-u))$$

$$P(x) = exp(-exp(-\alpha(x-u)))$$

dove i parametri α σ ed u della distribuzione sono legati alla media $\mu(x)$ ed allo scarto quadratico medio $\sigma(x)$ dalle relazioni:

Die Parameter α σ und u der Verteilung können wie folgt in Funktion des Mittelwertes $\mu(x)$ und der Standardabweichung $\sigma(x)$ ausgedrückt werden:

$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma(x)}$$

$$u = \mu(x) - 0.450\sigma(x)$$

anno/Jahr	giorno/Tag	portata/Abfluss [m³/s]	anno/Jahr	giorno/tag	portata/Abfluss [m³/s]
1924	26/05	874	1964	15/06	360
1925	<<		1965	03/09	1482
1926	1.11	1350	1966	04/11	1396
1927	25/09	1235	1967	05/09	760
1928	01/11	1410	1968	07/06	617
1929	10/06	808	1969	09/08	475
1930	24/07	1045	1970	22/08	565
1931	31/05	926	1971	26/06	332
1932	22/06	430	1972	13/06	646
1933	22/06	710	1973	<<	
1934	4/08	600	1974	27/06	500
1935	05/10	750	1975	19/07	817
1936	24/06	612	1976	14/09	950
1937	20/09	830	1977	27/05	673
1938	13/06	785	1978	05/07	911
1939	06/08	742	1979	01/06	677
1940	08/07	698	1980	17/10	945
1941	28/06	605	1981	19/07	1363
1942	28/09	1021	1982	12/06	537
1943	29/09	450	1983	23/05	970
1944	03/09	495	1984	04/06	509

1945	10/08	520	1985	06/08	1150
1946	22/06	950	1986	24/05	660
1947	10/07	625	1987	25/08	1210
1948	20/06	800	1988	15/07	797
1949	01/06	335	1989	09/07	613
1950	25/05	522	1990	02/07	462
1951	28/05	980	1991	18/06	998
1952	26/10	969	1992	20/06	537
1953	28/10	475	1993	08/10	888
1954	22/08	745	1994	14/09	689
1955	08/06	698	1995	31/05	465
1956	21/08	560	1996	08/07	590
1957	13/06	765	1997	28/06	1220
1958	28/05	878	1998	07/10	974
1959	29/06	650	1999	21/09	1140
1960	19/09	1183	2000	13/10	1120
1961	28/06	731	2001	11/06	1070
1962	02/06	751	2002	16/11	1010
1963	18/08	684	2003	30/08	327

Tabella 1: serie temporale dei massimi annuali di portata disponibili per la stazione idrometrica di Bronzolo

Tabelle 1: Zeitreihe der verfügbaren Abfluss - Jahresmaxima an der Pegelmessstelle von Branzoll

In queste relazioni $\mu(x)$ e $\sigma(x)$ sono rispettivamente la media e lo scarto quadratico medio dell'intera popolazione dei valori possibili della variabile aleatoria x. Il problema consiste quindi nella stima della media e della varianza $\sigma^2(x)$ sulla base dei soli valori misurati (campione). A tale scopo si è adottato il metodo dei momenti, il quale fa coincidere media e varianza della popolazione con la media e la varianza della popolazione. Tale ipotesi statistica, unitamente all'ipotesi di base che la variabile x sia distribuita secondo la distribuzione di Gumbel, va poi verificata mediante un test statistico. Il test adottato è il classico test di Pearson.

In diesen Gleichungen stellen $\mu(x)$ und $\sigma(x)$ jeweils den Mittelwert und die Standardabweichung der Grundgesamtheit der möglichen Werte der Zufallsvariablen x.

Die Aufgabe besteht darin, den Mittelwert und die Varianz $\sigma^2(x)$ nur auf Grund der gemessenen Stichprobendaten auszudrücken. Zu diesem Zweck kann die Momentenmethode herangezogen werden; hierin werden der Stichprobenmittelwert bzw. die Stichprobenstandardabweichung mit den analogen Parametern der Grundgesamtheit gleichgestellt. Diese statistische Annahme, zusammen mit der Zugrundelegung der Gumbel-Wahrscheinlichkeitsverteilung, wird in einem zweiten Schritt mittels statistischen Tests geprüft. Ein mögliches Testverfahren ist der hier angewandte Test nach Pearson.

Si noti che, al fine di ottenere una stima indistorta dello scarto quadratico medio $\sigma(x)$, si è adottata, in luogo della formula del momento di II ordine, la seguente relazione:

Man beachte, dass anstatt der Formel des Momentes II Grades, hier folgender Ausdruck zur "distorsionsfreien" Schätzung der Standardabweichung $\sigma(x)$ verwendet wurde:

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left[x_i - \mu(x)\right]^2}$$

L'adattamento della distribuzione di Gumbel al campione delle misure è stato verificato mediante il test di Pearson, che ha consentito di verificare che l'adattamento è molto buono (livello di significatività del test pari a 0.05).

Die Anpassung der Gumbelverteilung an die Stichprobe der Messdaten ist mittels Anpassungstest nach Pearson geprüft worden. Der Anpüassungsgrad ist als gut einzustufen (Signifikanzniveau des Anpassungstests von 0.05).

I valori delle stime dei parametri della distribuzione sono i seguenti:

Die Lageparameter der Verteilung sind in folgender Tabelle aufgelistet:

μ	789.769
σ	278.594
α	0.005
u	664.402

La figura 1 riporta i valori di frequenza e di probabilità di non superamento. Anche graficamente è possibile vedere che la distribuzione approssima abbastanza fedelmente i dati misurati.

Abbildung 1 zeigt die Frequenz und die Nicht – Überscheitungswahrscheinlichkeitswerte. Auch graphisch kann man überprüfen, dass die Approximationsverteilung wahrheitsgetreu die Messdaten wiederspiegelt.

Per quanto riguarda il test di Pearson, esso consiste nel suddividere il campo di esistenza della variabile casuale x in k intervalli che si escludono a vicenda e nel valutare la quantità:

Was den Pearson Test betrifft, wirt hiermit des Existenzbereich der Zufallsvariablen x in k Intervalle, die sich gegenseitig ausschließen, aufgeteilt und folgende Größe wird ermittelt:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k}\frac{\left[N_i - Np_i\right]^2}{Np_i}$$

dove $p_i = P(x_{i+1}) - P(x_i)$ è la probabilità che un'osservazione qualsiasi ricada nell'intervallo compreso tra xi ed xi+1. Si dimostra che X^2 è asintoticamente distribuita, al crescere di N, come un χ^2 con k-1 gradi di libertà.

hierin stellt $p_i = P(x_{i+1}) - P(x_i)$ die Wahrscheinlichkeit dar, dass irgendein Beobachtungswert ins Intervall zwischen xi und xi+1 fällt.

Man kann zeigen, dass X^2 asymptotisch verteilt ist. Nimmt N zu, ist die Verteilung gemäss χ^2 mit k-1 Freiheitsgraden.

Fissato quindi un valore di significatività del test χ_c^2, si procede al calcolo del parametro X^2 e la verifica è soddisfatta se $X^2 \le \chi_c^2$.

Wird nun ein Signifikanzniveau des χ_c^2-Tests festgelegt, kann man fortfahren, indem man den Parameter X^2 ermittelt. Ist $X^2 \leq \chi_c^2$, ist seitens der gewählten Wahrscheinlichkeitsverteilung der Signifikanztest bestanden.

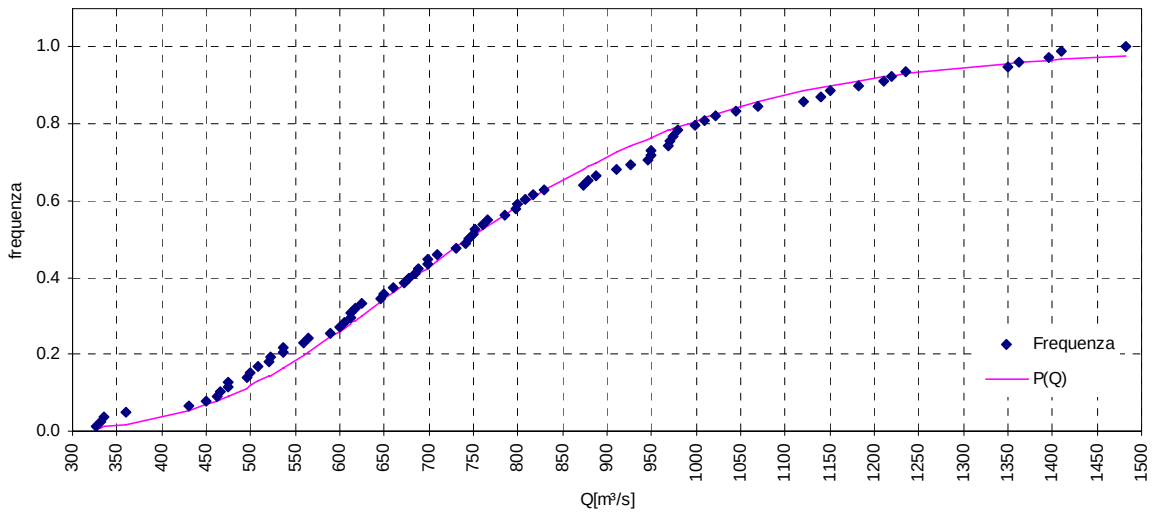

Figura 1: adeguamento dei dati alla funzione di probabilità
Abbildung 1: anpassung der Daten an die Wahrscheinlichkeitsfunktion

I risultati del test di Pearson sono riportati nelle seguenti tabelle:

Die Ergebnisse des Pearson – Anpassungstests sind aus folgenden Tabellen zu ersehen.

N	78
k	16
g.d.l.	13
p_i	0.063
Significatività	0.050
χ^2	22.362

DIVISIONE IN INTERVALLI			
$P(Q_i)$	**N_i**	**Np_i**	**$(N_i-Np_i)/(Np_i)$**
	5	4.88	0.00
0.06			
	7	4.88	0.93
0.13			
	5	4.88	0.00
0.19			
	3	4.88	0.72
0.25			
	6	4.88	0.26
0.31			
	3	4.88	0.72
0.38			
	6	4.88	0.26
0.44			
	3	4.88	0.72
0.50			
	5	4.88	0.00

VERIFICA	
X^2	8.564
$X^2<\chi^2$?	**SI**

	0.56				
		5	4.88	0.00	
	0.63				
		2	4.88	1.70	
	0.69				
		4	4.88	0.16	
	0.75				
		8	4.88	2.00	
	0.81				
		4	4.88	0.16	
	0.88				
		7	4.88	0.93	
	0.9375				
		5	4.88	0.003	

Poiché $X^2 \leq \chi_c^2$ la verifica è soddisfatta e quindi l'adeguamento del campione alla distribuzione è buono.

Nachdem $X^2 \leq \chi_c^2$ ist der Test bestanden und die Anpassung der Stichprobe an die Verteilung ist gut.

I valori dei quantili relativi ai vari tempi di ritorno vengono quindi calcolati sulla base della relazione che lega il tempo di ritorno alla probabilità di non superamento

Die Werte der Quantile, die bestimmten Wiederkehrsperioden entsprechen, werden aufgrund des folgenden Ausdrucks bestimmt, der die Abhängigkeit der Wiederkerszeit von der Nicht – Überschreitungswahrscheinlichkeit widerspiegeln.

$$T_r = \frac{1}{1 - P(Q_{T_r})} \Rightarrow P(Q_{T_r}) = 1 - \frac{1}{T_r}.$$

Mediante questa relazione si ottengo i seguenti valori di probabilità di non superamento in funzione del tempo di ritorno:

Somit erhält man folgende Nicht – Überschreitungswahrscheinlichkeitswerte in Abhängigkeit der Wiederkehrsperiode:

Tr [anni]	P(Tr)
30	0.967
50	0.980
100	0.990
200	0.995
500	0.998

Il grafico della funzione $P(Q_{T_r})$ è riportato in figura 2. Come si può ben vedere, la probabilità di non superamento tende asintoticamente ad 1 al crescere di Tr e già per Tr=50 anni si ha una probabilità di non superamento del 98%.

Der Graph der Funktion $P(Q_{T_r})$ ist in Abbildung 2 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Nicht – Überschreitungswahrscheinlichkeit sich bei steigendem Tr dem Wert 1 nähert und bereits für Tr=50 ist die Nicht – Überschreitungswahrscheinlichkeit gleich 98%.

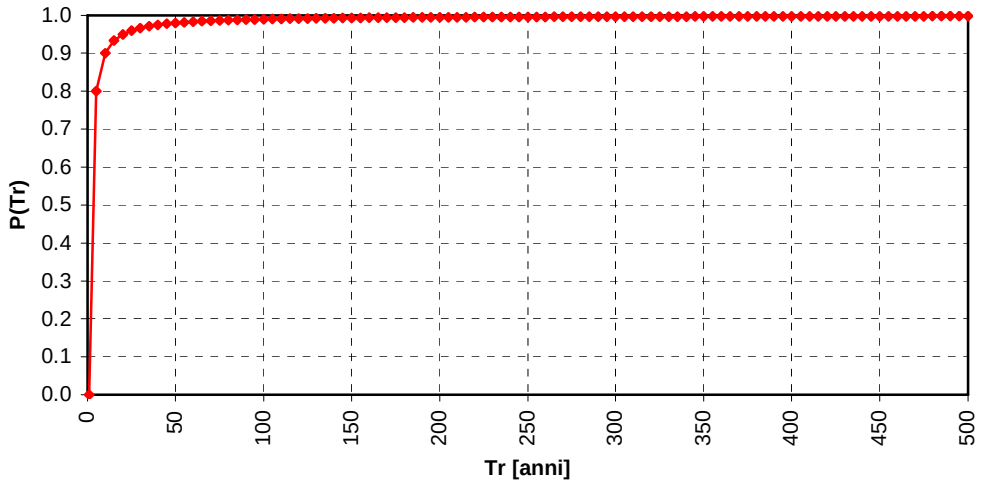

Figura 2: probabilità di non superamento in funzione del tempo di ritorno
Abbildung 2: Nicht – Überschreitungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Wiederkehrperiode (Tr)

Ricordando l'espressione della funzione di probabilità P di Gumbel, si ottiene la seguente relazione per il quantile di portata marcato dal generico tempo di ritorno Tr:

Wird nun der Ausdruck für die Wahrscheinlichkeit P von Gumbel herangezogen, kann man den Abflussquantil in Abhängigkeit der Wiederkehrperiode (Tr) wie folgt angeben:

$$Q_{T_r} = u - \alpha \, ln\left(-ln\left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \right).$$

Nel caso del campione in esame si ottengo i valori di tabella 2.

Im Falle der untersuchten Stichprobe wurden die Werte der Tabelle 2 ermittelt:

Tr [anni]	Q [m³/s]
15	1244
30	1399
50	1511
60	1551
80	1614
100	1663
200	1814

Tabella 2: quantili delle portate relativi ai vari tempi di ritorno
Tabelle 2: Abflussquantile in Abhängigkeit der Wiederkehrszeit Tr

Va tuttavia ricordato che valutare il grado di rischio sulla base del tempo di ritorno stimato a partire da un campione di misure comporta sempre un elevato grado di incertezza, dovuto alla limitatezza del campione rispetto all'intera popolazione dei valori ammissibili. Ciò significa, ad esempio, che una piena eccezionale potrebbe in ogni momento modificare la statistica, portando alla determinazione di portate assai più elevate rispetto a quelle riportate in tabella 2.

Man darf nicht vergessen, dass die bestimmung des Risikograde, ausgehend von der geschätzten Wiederkehrsperiode (Tr) aufgrund einer Stichprobe von Messdaten zwangsläufig Unsicherheiten beinhaltet, zurückzuführen auf die limitierte Stichprobengrösse in Relation zur Grundgesamtheit. Ein Extremereignis kann immer die Extremwertstatistik modifizieren, im Sinne einer Erhöhung der Abflussdaten gegenüber jenen die in Tabelle 2 angegeben worden sind.

Nel caso in esame, tuttavia, il campione è costituito da 78 valori ed è quindi abbastanza rappresentativo. Per quanto riguarda i tempi di ritorno più elevati (da 100 anni in su) occorrerebbe tuttavia un campione più numeroso.

Im vorliegenden Fall beinhaltet die Stichprobe 78 Werte und kann als einigerlassen repräsentativ angesehen werden. Für grössere Wiederkehrsperioden (Tr > 100 Jahre) wären längere Messreihen erforderlich.

2 VERIFICHE IDRAULICHE

2. HYDRAULISCHE NACHWEISE

2.1 Introduzione

2.1 Einleitung

Le verifiche idrauliche vengono eseguite mediante un modello idraulico stazionario e non stazionario, che consente il calcolo dei profili di moto permanente e vario nel tratto in esame.

Die hydraulischen nachweise werden mittels stationärem und instationärem hydraulischen Modell durchgeführt. Dies ermöglicht die Spiegellinienberechnung des Untersuchungstraktes im Falle gleichförmiger und ungleichförmiger Strömung

Il franco da mantenere è pari ad 1m per la piena bicentenaria.

Der einzuhaltende Freibord ist 1m für ein 200-jährliches Hochwasser.

2.2 Il modello idraulico

2.2 Das Hydraulische Modell

Il modello idraulico è stato costruito utilizzando il programma SOBEK prodotto dalla WL | Delft Hydraulics, mediante il quale è possibile calcolare sia profili di moto permanente (portata costante) sia correnti in moto vario (portata variabile).

Das hydraulische Modell wurde unter Verwendung des Programms SOBEK, welches von der Firma WL - Delft Hydraulics hergestellt wurde, aufgebaut. Dieses hydraulische Modell ermöglicht die stationäre (Abfluss konstant) und instationäre (Abfluss variabel) Spiegellinienberechnung.

Si sono utilizzate le sezioni del rilievo eseguito dall'Autorità di Bacino del Fiume Adige nel 1996, nel quale sono state modificate le sezioni 221 e 222 a valle del ponte di Egna, sulla base di un rilievo eseguito nell'Aprile 2004 dalla Ripartizione 30 della Provincia Autonoma di Bolzano. Nell'ambito di tale rilievo si sono infatti riscontrate considerevoli discrepanze nella batimetria di tali sezioni rispetto al suddetto rilievo del 1996.

Die Querprofile der topographischen Vermessung der "Etsch-Aufsichtsbehörde" vom Jahr 1996 sind verwendet worden. Die Querprofile 221 und 222 unterhalb der Brücke von Neumarkt wurden aufgrund der Neuvermessung des Jahres 2004, ausgeführt von

der Abteilung 30 der Autonomen Provinz Bozen, verändert. Im Zuge dieser Vermessung wurden große Diskrepanzen im „batimetrischen“ Querprofilverlauf gegenüber der oben genannten Vermessung vom Jahr 1996 festgestellt.

Il tratto di fiume considerato va dalla stazione idrometrica di Bronzolo fino a S. Michele all'Adige. Si è deciso di inserire le sezioni fino a S. Michele all'Adige in quanto trattandosi di moti in corrente lenta (Froude < 1), il campo di moto è fortemente influenzato dalla condizione di valle, che non può essere nota a priori con precisione. Pertanto è stato necessario assegnare tale condizione il più lontano possibile dal tratto considerato, in modo da minimizzarne l'influenza sulla soluzione.

Der untersuchte Flussabschnitt reicht von der Pegelmessstelle Branzoll bis nach S. Michele all'Adige. Es wurde beschlossen die Querprofile bis nach S. Michele ins Modell einzubauen, da unter strömenden Fliessverhältnissen (Froude <1) das Strömungsfeld stark von der talseitigen Randbedingung beeinflusst ist, die nicht a-priori genau festgelegt werden kann. Deshalb wurde die Lage der talseitigen Randbedingung so weit wie möglich vom Kernstück des Untersuchungstraktes festgelegt.

La calibrazione del modello SOBEK su alcuni eventi di piena ha portato ad utilizzare un valore del coefficiente di Manning pari a 0.0295. Tale valore è in perfetto accordo con il valore 0.03 comunemente utilizzato. Si tratta comunque di una calibrazione di massima, in quanto non sono ancora disponibili dati sufficienti per una calibrazione raffinata, eseguita sezione per sezione. Si assume quinti un identico valore del parametro di Manning su tutto il fiume.

Die Kalibrierung des SOBEK Modells wurde anhand einiger vergangener Hochwasserereignisse durchgeführt, was zur Festlegung der Rauhigkeit nach Manning auf den Wert 0.0295 geführt hat. Dieser Wert ist im Einklang mit dem normalerweise verwendeten Referenzwert von 0.03. Es handelt sich dennoch um eine „Maximalkalibrierung“, da die Daten noch nicht ausreichen um den Kalibrierungsprozess sektionsweise zu verfeinern. Dies ist auch der Grund warum ein einziger Rauhigkeitsbeiwert für den ganzen Abschnitt angenommen wurde.

Di seguito si riporta il grafico relativo al confronto fra i livelli misurati e simulati con il modello presso l'idrometro di Egna durante l'evento di piena del 16/11/2002 (figura 3). Si può notare come, in particolare per i livelli massimi, vi sia un ottimo accordo fra i risultati del modello e le misure effettuate durante l'evento.

In folgender Abbildung (Abb.3) findet sich der Graph, in welchem der Vergleich der gemessenen mit den simulierten Wasserstände am Pegel von Neumarkt während des Hochwasserereignisses vom 16/11/220 dargestellt ist. Man kann diesem Graph entnehmen, dass gemessene und mit dem Modell simulierte Wasserstandswerte vor allem was die maximalen Wasserstände betrifft, sehr gut im Einklang sind.

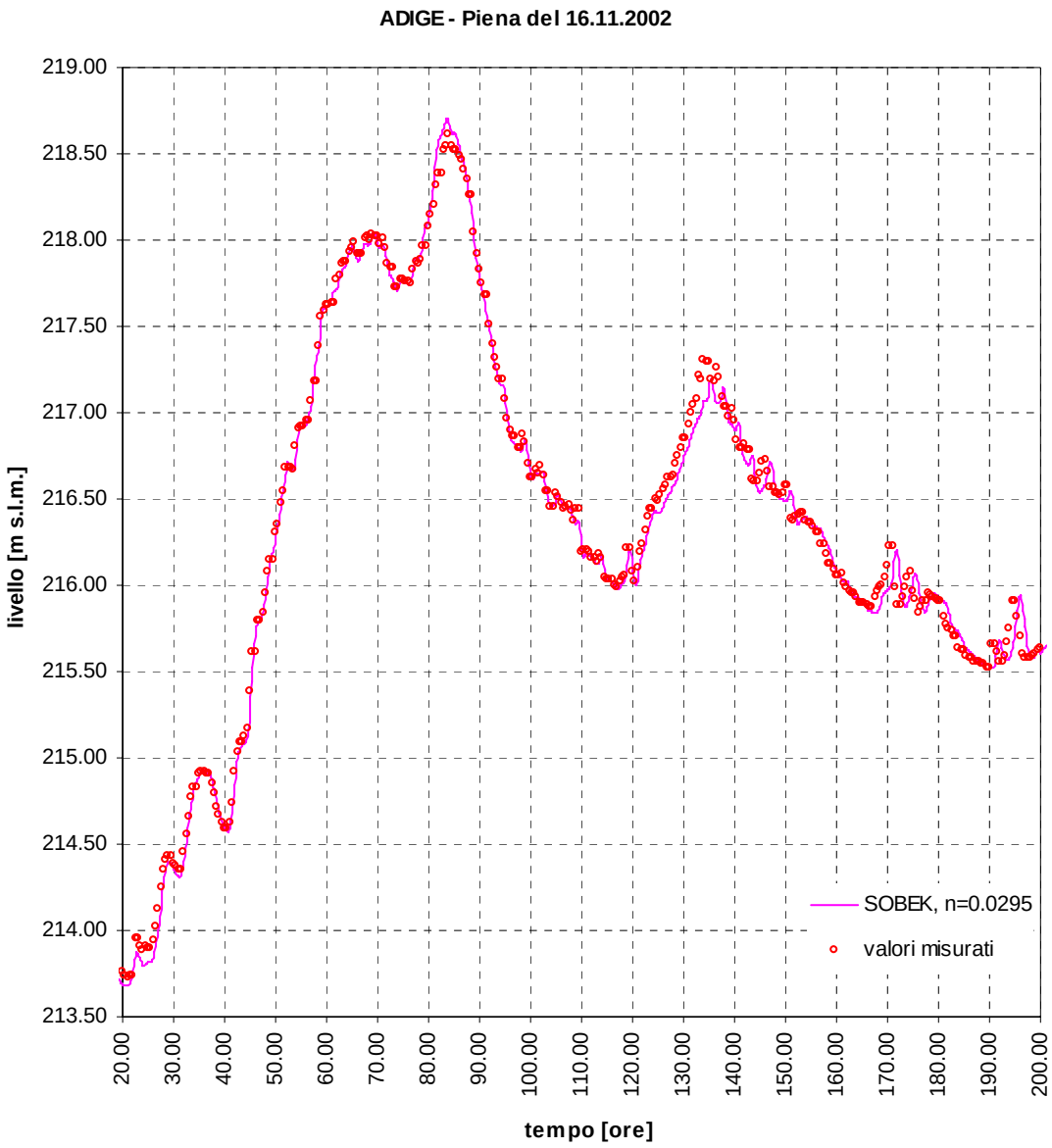

Figura 3: livelli misurati e simulati con SOBEK per l'evento di piena del 16/11/2002. Il parametro di scabrezza di Manning è stato assunto pari a n=0.0295

2.3 Determinazione del livello idrico corrispondente alla piena bicentenaria

2.3 Bestimmung des zum 200-jährlichen Hochwasser zugehörigen Wasserstandes

Per la piena bicentenaria (Q_{200} = 1815m³/s) , il modello idraulico ha fornito un livello idrico pari a 221.0 m s.l.m.. A tale livello va aggiunto il franco di un metro.

La quota minima del sottotrave del ponte non dovrà quindi essere inferiore a **222.0 m s.l.m.**.

Für ein 200.jährliches Hochwasser (Q_{200} = 1815m³/s), liefert das hydraulische Modell die Wasserstandslage von 221.0 mSH. Zusätzlich ist 1m Feibord zu berücksichtigen.

Die Minimalkote der Brücke und zwar unterhalb der Träger muss daher mindestens 222.0 m SH betragen

Il Tecnico

Der Techniker

Ing. Claudio Volcan