



Título de Trabajo Fin de Máster:

**PROPUESTA DE SISTEMA DE
VALIDACIÓN DE SERIES DE DATOS
HIDROLÓGICOS EN
MONITORIZACIÓN CONTINUA.
APLICACIÓN EN LA CUENCA DEL
RÍO ROVANA (CANTÓN DEL
TESINO- SUIZA)**

Intensificación:

ORDENACIÓN, RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE CUENCAS

Autor:

CASTILLEJO CAPILLA, LUIS RUBÉN

Director/es:

DRA. LÓPEZ SARDÁ, MARÍA LETICIA

DR. TORRENT BRAVO, JOSE ANDRÉS

DR. POZZONI, MAURIZIO

Fecha: *SEPTIEMBRE, 2012*

Título del trabajo de Fin de Máster

**PROPUESTA DE SISTEMA DE VALIDACIÓN DE SERIES DE DATOS
HIDROLÓGICOS EN MONITORIZACIÓN CONTINUA. APLICACIÓN EN
LA CUENCA DEL RÍO ROVANA (CANTÓN DEL TESINO- SUIZA)**

Autor: CASTILLEJO CAPILLA, LUIS RUBÉN

Tipo	A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/>	Lugar de Realización	Lugano, Suiza
Director	LÓPEZ SARDÁ, MARÍA LETICIA	Fecha de Lectura	SEP. 2012
Codirector	TORRENT BRAVO, JOSE ANDRÉS		
Tutor	POZZONI, MAURIZIO		

Resumen:

El presente trabajo estudia el sistema de validación de datos hidrológicos propuesto por el Instituto de Science della Terra, en Suiza, propone mejoras a dicho sistema y lo valida con series de datos reales.

El estudio se ha centrado en la validación de datos de precipitaciones y de forma secundaria en validación de series de datos de profundidad hídrica de cursos de agua.

Se han propuesto una serie de diagramas de flujo, tanto genéricos como específicos, por donde deberán circular los datos en su proceso de validación así como la aplicación y mejora de cada uno de los pasos de la validación.

Así mismo se ha modelado hidrológicamente el tramo de un río situado en la zona donde se desea aplicar el sistema de validación, ya que se ha estimado que el conocimiento de la dinámica de la serie de datos que se desea validar es fundamental para el éxito de la validación.

Una vez configurado el sistema de validación de datos se ha valorado su utilidad probándolo con series de datos reales de la zona.

Palabras Clave:

Validación de datos, precipitación, caudal, modelación hidrológica, red neuronal artificial, diagrama de flujo.

Título del trabajo de Fin de Máster

**PROPUESTA DE SISTEMA DE VALIDACIÓN DE SERIES DE DATOS
HIDROLÓGICOS EN MONITORIZACIÓN CONTINUA. APLICACIÓN EN
LA CUENCA DEL RÍO ROVANA (CANTÓN DEL TESINO- SUIZA)**

Autor: CASTILLEJO CAPILLA, LUIS RUBÉN

Tipo	A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/>	Lugar de Realización	Lugano, Suiza
Director	LÓPEZ SARDÁ, MARÍA LETICIA	Fecha de Lectura	SEP. 2012
Codirector	TORRENT BRAVO, JOSE ANDRÉS		
Tutor	POZZONI, MAURIZIO		

Summary

The aim of this paper is the study of the system of hydrological data validation proposed by the Institute of Science della Terra, Switzerland, suggest improvements to the system and validate it with real data sets.

The study focused on the validation of rainfall data and secondarily on validation data sets of water depth.

Have been proposed a series of flow diagrams, both general and specific, where data must be transmitted in its validation process as well as the implementation and improvement of every step of the validation.

Likewise an hydrological model has been made to the stretch of a river situated in the area where it is desired to apply the validation system, since it has been estimated that the knowledge of the dynamics of the series of data to be validated is critical to the success of validation.

After setting, the data validation system has been evaluated by testing its utility with real data sets in the area.

KEYWORDS:

Data Validation, precipitation, flow, hydrologic modeling, artificial neural network, flowchart.

Título del trabajo de Fin de Máster

**PROPUESTA DE SISTEMA DE VALIDACIÓN DE SERIES DE DATOS
HIDROLÓGICOS EN MONITORIZACIÓN CONTINUA. APLICACIÓN EN
LA CUENCA DEL RÍO ROVANA (CANTÓN DEL TESINO- SUIZA)**

Autor: CASTILLEJO CAPILLA. LUIS RUBÉN

Tipo	A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/>	Lugar de Realización	Lugano, Suiza
Director	LÓPEZ SARDÁ, MARÍA LETICIA	Fecha de Lectura	SEP. 2012
Codirector	TORRENT BRAVO, JOSE ANDRÉS		
Tutor	POZZONI, MAURIZIO		

Resum

Aquest treball estudia el sistema de validació de dades hidrològiques proposat per l'Institut de Science della Terra, a Suïssa, proposa millores a aquest sistema i lo valida amb sèries de dades reals.

L'estudi s'ha centrat en la validació de dades de precipitacions i de forma secundària en validació de sèries de dades de profunditat hídrica dels cursos d'aigua.

S'han proposat una sèrie de diagrames de flux, tant genèrics com específics, per on han de circular les dades en el seu procés de validació així com l'aplicació i millora de cada un dels passos de la validació.

Així mateix s'ha modelat hidrològicament el tram d'un riu situat a la zona on es vol aplicar el sistema de validació, ja que s'ha estimat que el coneixement de la dinàmica de la sèrie de dades que es vol validar és fonamental per a l'èxit de la validació.

Un a volta configurat el sistema de validació de dades s'ha valorat la seva utilitat provant amb sèries de dades reals de la zona.

Paraules Clau:

Validació de dades, precipitació, caudal, modelació hidrològica, xarxa neuronal artificial, diagrama de flux.

CAPITULO 1 OBJETIVOS Y ANTECEDENTES	7
1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVO	7
3. ANTECEDENTES	8
3.1. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA POR EL ISTITUTO SCIENZE DELLA TERRA PARA LA CORRECCIÓN Y VALIDACIÓN DE DE SUS DATOS HIDROLÓGICOS.	9
3.1.1. TOMA DE DATOS	9
3.1.2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE VALIDACIÓN	9
3.1.2.1. TABLA 1 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN DE DATOS ISTITUTO SCIENZE DELLA TERRA	10
3.1.2.2. GRÁFICO 1: METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN DELISTITUTO SCIENZE DELLA TERRA	11
3.1.2.3. TABLA 2: NIVELES HÍDRICOS	14
3.1.2.4. TABLA 3: RANGO MÁXIMO DE TEMPERATURAS	16
3.1.2.5. TABLA 4: RANGO MÍNIMO DE TEMPERATURAS	16
3.1.2.6. TABLA5: PRECIPITACIONES	18
3.2. VALIDACIÓN DE DATOS HISTÓRICOS DE LA BASE DE DATOS	21
3.2.1. DATOS PLUVIOMÉTRICOS	21
3.3. NUEVA BASE DE DATOS HIDROLÓGICOS	22
4. ESTADO DEL ARTE	23
CAPITULO 2 MATERIALES Y METODOS	28
1. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO	28
1.1. ELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	28
1.2. SUIZA Y EL CANTÓN TICINO	28
1.2.1. MAPA 1: SITUACIÓN DE SUIZA EN EUROPA.	29
1.3. LOS ALPES	30
1.3.1. ORIGEN	30
1.3.2. CLIMA DE LOS ALPES	31
1.3.3. EL CANTÓN TESINO	32
1.4. METEOROLOGÍA EN SUIZA.	32
1.4.1. PRECIPITACIÓN	33
1.4.1.1. TABLA 6: DATOS GENERALES SOBRE LA PRECIPITACIÓN EN SUIZA	34
1.4.1.2. LA INFLUENCIA DE LA ALTITUD	34
1.4.1.3. GRÁFICO 2: RELACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN CON EL RELIEVE	35
1.4.1.4. PRECIPITACIÓN ESTACIONAL	35
1.4.1.5. GRÁFICO 3: COMPARATIVA DE LA PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA ALTITUD	36
1.4.1.6. HIELO Y NIEVE	36
1.4.1.7. TABLA 7: ESTADÍSTICAS DEL HIELO Y LA NIEVE EN SUIZA	37
1.5. GLACIARES	37
1.6. MAPA 2: SITUACIÓN DE LOS GLACIARES EN SUIZA	38
1.7. MEDICIÓN DE LA DESCARGA	38
1.7.1. ESTACIONES DE MEDICIÓN	39
1.7.2. TABLA 8: ESTACIONES DE MEDICIÓN	39
1.7.3. GRÁFICO4: EVOLUCIÓN DE LA RED SUIZA DE ESTACIONES DE MEDICIÓN DE PRECIPITACIÓN SEGÚN WEINGARTNER 1992; (METEOSWISS).	40
1.7.4. REDES DE MEDICIÓN DE PRECIPITACIÓN OPERADAS POR METEOSWISS	40

1.7.4.1.	MAPA 3: POSICIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE METEOSWISS	41
1.7.5.	CONDICIONES DE DESCARGA EN SUIZA	41
1.7.6.	TABLA 9: DATOS DE LAS PRINCIPALES CUENCAS SUIZAS	42
1.7.7.	MAPA 4: MEDIA ANUAL POR ÁREAS DE DESCARGA.	42
1.8.	RED HIDROGRÁFICA SUIZA	43
1.8.1.	LAGOS EN SUIZA	43
1.8.2.	TABLA 10: RED DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DE SUIZA.	44
1.8.3.	MAPA 5: ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DE SUIZA.	45
1.8.4.	MAPA 6: DETALLE DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DEL CANTÓN TESINO.	46
1.9.	METEOROLOGÍA EN EL CANTÓN TESINO	46
1.10.	MAPA 7: MAPAS DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA EN CANTÓN DEL TESINO (COTTI Y COLS., 1990).	47
1.11.	RED HIDROGRÁFICA DEL CANTÓN TICINO	47
1.11.1.	PRINCIPALES CURSOS DE AGUA	47
1.11.2.	TABLA 11: ALGUNOS DATOS SOBRE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS MÁS IMPORTANTES DEL CANTÓN DEL TESINO.	48
1.12.	RÍO ROVANA	48
2.	MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO ROVANA A SU PASO POR CEVIO	48
2.1.	INTRODUCCIÓN	48
2.2.	MAPA 8: SITUACIÓN DE LA CUENCA DEL ROVANA EN SUIZA	49
2.3.	MAPA 9: VISTA DEL CANTÓN TESINO.	50
2.4.	MAPA 10: ÁREA DE LA CUENCA DEL RÍO ROVANA	51
2.5.	MAPA 11: OROGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ROVANA, AL FONDO SE APRECIA AL ARCO ALPINO	52
2.6.	MAPA 12: ESQUEMATIZACIÓN DE LAS SUBCUENCAS Y LAS ESTACIONES DE MEDIDA.	53
2.7.	CEVIO	53
2.8.	PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	53
2.9.	NÚMERO DE CURVA	54
2.10.	TABLA 12.: DATOS MORFOMÉTRICOS DE LAS SUBCUENCAS:	54
2.11.	TOMA DE DATOS CON ESTACIÓN TOTAL	55
2.11.1.	TABLA 13: DATOS GEOGRÁFICOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN DE LAS SECCIONES DEL RÍO:	56
2.11.2.	TABLA 14: SECCIONES CERCANAS AL PUENTE	57
2.11.3.	TABLA 15: DATOS TOPOGRÁFICOS COMPLETOS DEL CAUCE Y EL PUENTE	58
2.11.4.	GRÁFICO 5: PERFIL DE RÍO ROVANA	59
2.11.5.	TABLA 16: DATOS TOPOGRÁFICOS DEL PUENTE:	60
2.11.6.	GRÁFICO 6: PERFIL DEL PUENTE	61
2.11.7.	MODELACIÓN CON HEC-RAS	62
2.11.8.	SECCIÓN MODELADA PARA UN CAUDAL DE 377 M3/S	63
2.11.9.	MODELACIÓN DEL PUENTE	68
2.11.10.	PERFIL DEL RÍO A DIFERENTES CAUDALES	69
2.11.11.	MODELO TRIDIMENSIONAL DEL RÍO PARA LOS 3 PERIODOS DE RETORNO (30, 100 Y 300 AÑOS)	72
2.11.12.	VISTA DEL PERFIL 1	72
2.11.13.	VISTA DEL PERFIL 2	73
2.11.14.	VISTA DEL PERFIL 3	74
1.1.1.	RESGUARDO DE LA LÁMINA DE AGUA	74

1.1.2.	TABLA 17: PERFIL DE RÍO EXTRAPOLADO CADA 5 METROS.	75
1.1.3.	GRÁFICO7: ALTURA DE RESGUARDOS	76
1.1.4.	RESULTADOS	76
1.1.5.	CONCLUSIONES Y MOTIVACIÓN DEL LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA	76
2.	SISTEMA DE VALIDACIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS PROPUESTO	77
2.1.	PROBLEMÁTICA CON LA VALIDACIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS DE CAUDALES	77
2.2.	LA ENTRADA DE DATOS	78
2.3.	EL PROCESO DE VALIDACIÓN	78
2.3.1.	TEST DE CONSISTENCIA INTERNA	78
2.3.2.	PRUEVA DE CONSISTENCIA TEMPORAL Y VARIABILIDAD DE MEDIDAS	79
2.3.3.	RANGO DE VALIDACIÓN	79
2.3.3.1.	GRÁFICO 8: RANGOS DE VALIDACIÓN.	80
2.3.4.	PRUEVA DE CONSISTENCIA ESPACIAL	81
2.3.5.	EL PROCESO DE VALIDACIÓN MANUAL	82
3.	DIAGRAMAS DE FLUJO DE VALIDACIÓN DE DATOS	82
3.1.	DIAGRAMA DE FLUJO GENÉRICO	83
3.1.1.	DIAGRAMA DE FLUJO DE VALIDACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIONES	84
3.1.2.	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROFUNDIDAD HÍDRICA	85
3.1.3.	SIGNIFICADO DE LAS MARCAS NUMÉRICAS DE LOS DATOS:	85
4.	RED NEURONAL ARTIFICIAL	86
4.1.	INTRODUCCIÓN A LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES	86
4.1.1.	RELACIÓN ENTRE LAS REDES NEURONALES BIOLÓGICAS Y LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES.	86
4.1.2.	ARQUITECTURA	89
4.2.	PREPARACIÓN DE LOS DATOS	89
4.3.	GRÁFICO 9: AUTOCORRELOGRAMA LINEAL	91
4.4.	TABLA 18: CÁLCULO AUTOCORRELACIÓN 1	92
4.5.	TABLA 19: CÁLCULO AUTOCORRELACIÓN 2	92
4.6.	GRÁFICO 10: AUTOCORRELACIÓN	94
4.6.1.	LA RED NEURONAL	94
4.6.2.	SERIE DE DATOS	94
4.7.	GRÁFICO 11 ERROR DE LA RED NEURONAL	96
CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN		98
1.	APLICACIÓN PRÁCTICA DEL SISTEMA DE VALIDACIÓN DE DATOS PROPUESTO.	98
1.1.	PRECIPITACIÓN	98
1.1.1.	SERIE 1	98
1.1.2.	TABLA 20 SERIE 1	98
1.1.3.	GRÁFICO 12: SERIE 1	99
1.1.4.	GRÁFICO 13 RANGOS DE VALIDACIÓN ANUALES	100
1.1.5.	GRÁFICO 14: RANGOS DE VALIDACIÓN 5 AÑOS. ESTACIONAL	101
1.1.6.	TABLA 21 CORRELACIONES ESTACIONALES	102
1.1.7.	TABLA 22 RANGOS DE VALORES SERIE 1	104
1.1.8.	SERIE 2	105
1.1.9.	TABLA 23 SERIE 2	105
1.1.10.	GRÁFICO 15 SERIE 2	106
1.1.11.	GRÁFICO 16: RANGOS DE VALIDACIÓN ANUAL	106
1.1.12.	GRÁFICO 17: RANGOS DE VALIDACIÓN 5 AÑOS. ESTACIONAL	107

1.1.13.	TABLA 24 RANGOS DE VALORES SERIE 2	107
1.2.	CAUDALES	108
1.2.1.	SERIE CAUDALES	110
1.2.2.	GRÁFICO 18 RANGOS DE VALIDACIÓN DE CAUDALES. ESTACIONAL	112
1.2.3.	GRÁFICO 19 DETALLE DE LA ZONA CONFLICTIVA	112
1.2.4.	TABLA 25: CORRELACIONES ESTACIONALES DE LOS CAUDALES	113
1.2.5.	TABLA 26: AÑOS DE MAYOR CORRELACIÓN.	115
1.2.6.	TABLA 25: DATOS DEL PLUVIÓMETRO CAMPO VALLE MAGGIA	115
2.	DISCUSIÓN	116
CAPITULO 4 CONCLUSIONES		119
1.	CONCLUSIONES	119
2.	APORTES DEL TRABAJO	119
3.	FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	121
CAPÍTULO 5 BIBLIOGRAFÍA		123
1.	BIBLIOGRAFIA UTILIZADA PARA LA ELABORACION DEL PROCEDIMIENTO PARA LA VALIDACION DE DATOS.	123
2.	BIBLIOGRAFIA MODELACIÓN HIDROLÓGICA RÍO ROVANA	124
3.	BIBLIOGRAFÍA REDES NEURONALES	125

CAPITULO 1 OBJETIVOS Y ANTECEDENTES

1. INTRODUCCIÓN

En el estudio de la climatología, hidrografía, pluviometría, etc. así como de todas las ciencias basadas en la observación de los fenómenos naturales, se halla la necesidad de poseer una base de datos extensa y sobre todo fiable del fenómeno natural que se desea estudiar.

La validación y corrección de bases de datos es un campo de estudio que plantea varios problemas. El primero es la magnitud de la base de datos, pudiendo ser de cientos de miles de entradas. El segundo y quizá más importante es la aleatoriedad de los datos obtenidos. Si bien es cierto que dichos datos siguen patrones, en los cuales nos basaremos para su validación, el factor azar siempre está presente y es muy difícil establecer *a posteriori* qué datos registrados son veraces y cuales se deben al mal funcionamiento de los instrumentos de medición.

Además se plantea la problemática de la existencia de lagunas en el continuo temporal de la base de datos, dichas lagunas deben completarse con datos lo más fiables posible aunque sin perder de vista que son datos sintéticos.

Por otra parte, el conocimiento de la dinámica del ciclo hídrico en los Alpes, sus precipitaciones y el modelado de cursos de agua es fundamental para el rango de magnitudes factibles a las que nos enfrentamos en cada caso.

2. OBJETIVO

El objetivo principal del presente Trabajo de Fin de Master es el de investigar posibles alternativas para la mejora y ratificación del sistema de validación de datos hidrológicos (lluvia principalmente y calado de los cursos de agua) planteado por el Istituto Science della Terra. Para ello se ha estudiado el estado del arte en materia de validación de datos para determinar las posibles debilidades y fortalezas de las diversas metodologías aplicadas en este campo así como la metodología planteada por el Istituto.

Se pretende aumentar el conocimiento de la dinámica de los diferentes fenómenos de los que se obtendrán las series de datos para de éste modo poder afinar el sistema de validación de datos. En éste campo es el más claro ejemplo la modelación hidrológica del río Rovana.

Para abordar estos objetivos se van a utilizar herramientas estadísticas y computacionales. Siendo los más destacados la utilización de los programas informáticos EXCEL; MATLAB, ARCMAP, HEC-RAS.

3. ANTECEDENTES

El Istituto scienze della terra publica de forma anual un Anuario hidrológico del Cantón Ticino. En dichos anuarios se recogen los datos de precipitación, nivel hídrico y cantidad de flujo de sus ríos, nivel de sus lagos y un balance hídrico de sus cuencas naturales, así como toda la información relativa a sus estaciones meteorológicas, su localización y funcionamiento.

La información está recogida en tablas y gráficos dando datos diarios, mensuales, medios, máximos, mínimos etc. Los datos de estos anuarios serán la fuente de datos que se utilizarán en el presente proyecto para la validación y estima de datos.

En cuanto al sistema actual de validación de datos, el Istituto scienze della terra ha redactado un documento donde recoge la metodología empleada actualmente: Procedimiento para la validación de los datos de la red hidro-pluviométrica. (M.Pozzoni, M.Cannata. Diciembre 2010), se pretende mejorar y validar dicho sistema, además de dotarlo de medios para estimar datos cuando existan lagunas.

El resumen de la actual metodología tal y como se está aplicando antes de la implementación del presente trabajo es el siguiente, obsérvese que algunos de esos procedimientos nunca han llegado a ponerse en marcha y por tanto no han sido ni utilizados ni validados:

3.1. Resumen de la metodología empleada por el Istituto scienze della terra para la corrección y validación de de sus datos hidrológicos.

La metodología empleada para la gestión del estándar de calidad de la base de datos hidrológicos, tanto obtenidos a tiempo real como insertados de forma manual, ha sido dividida en diferentes fases las cuales pueden ser modificadas sin necesidad de cambiar las demás.

3.1.1. Toma de datos

Los datos llegan desde las estaciones meteorológicas por 3 vías:

- Tecnología móvil GPRS
- Vía internet (red WIFI)
- Descarga manual.

Los datos que llegan vía GPRS o WIFI se gestionan mediante el programa Hidrowin 2000 que los organiza por carpetas. Posteriormente se acumulan en la base de datos. Las estaciones tienen un módem (o tarjeta telefónica) y un *Data logger*(instrumento de almacenamiento de datos).

3.1.2. Estructura del sistema de validación

El estado de la calidad de los datos se determina por un código numérico que tiene el significado que se expresa en la tabla que figura a continuación.

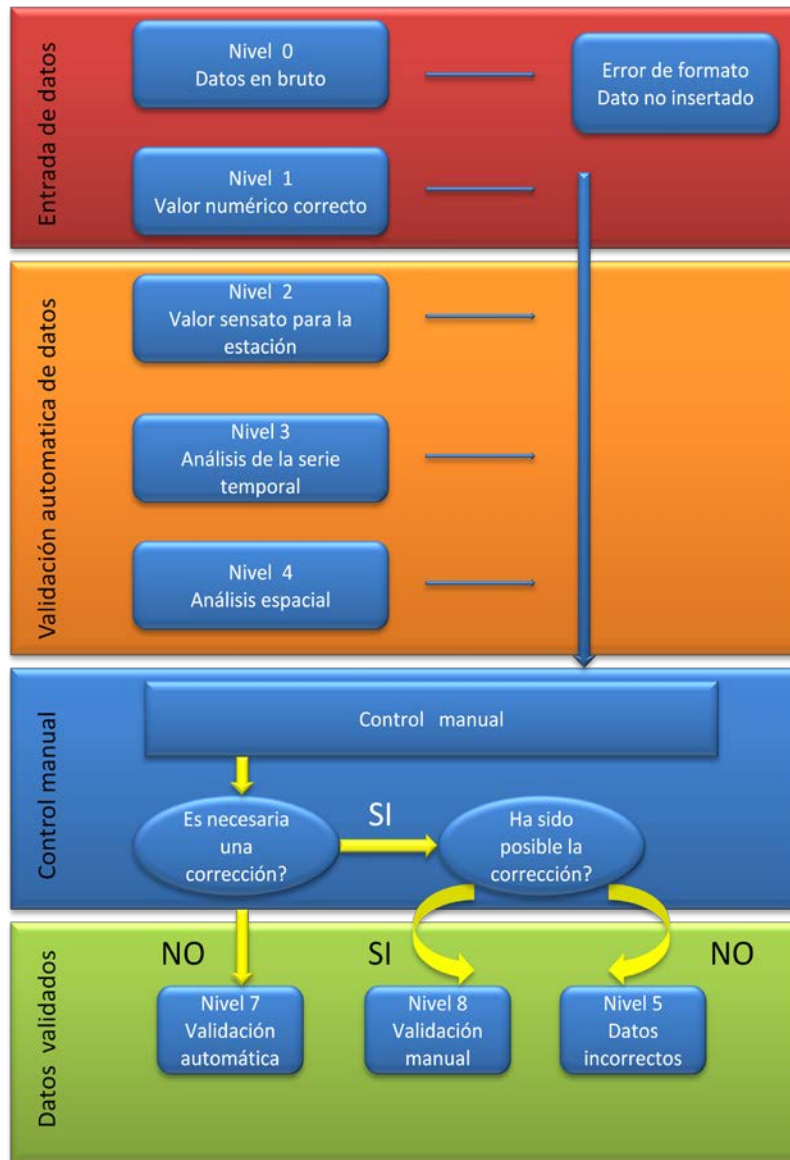
El procedimiento será válido para todos los datos que se introducen en la base. Actualmente se encuentra implementado excepto en los niveles de calidad 3 y 4, de los cuales sólo se tiene información teórica.

Se expone así mismo una señal de calidad, de 1 – 8, durante el presente texto que posteriormente fue actualizada por los índices de calidad de 3 dígitos. Ésta numeración de 1-8 no hay que confundirla con los niveles de calidad, que son de 1-7. (Esta notación confusa es una de las primeras modificaciones que se llevarán a cabo)

3.1.2.1. Tabla 1 Metodología de validación de datos Istituto scienze della terra

Nivel de calidad	Índice de calidad	Descripción
0	-	Datos en bruto, adquiridos y listos para ser cargado en la base de datos.
1	100	Datos descargados en la base de datos (formato correcto) Nivel mínimo de los datos en la base de datos.
	110	La serie temporal está incompleta y el dato no se encuentra. En lugar del dato se inserta: -999.9000
	120	Dato erróneo (ej: dato de caudal negativo)
2	210	Valor sensato para la estación dentro de un umbral mínimo y máximo.
3	220	Plausibilidad sobre la base de datos de las últimas 24/48 horas
4	230	La comparación con datos de otros sensores cercanos o los datos de radar, y verificación de la fiabilidad.
5	310	Dato analizado manualmente y considerado no correcto.
6	320	Dato analizado manualmente y considerado correcto gracias a la corrección manual.
7	330	Dato analizado manualmente y considerado correcto sin corrección manual.

3.1.2.2. Gráfico 1: Metodología de validación dell'Istituto scienze della terra



Nivel 0. Control inicial.

Control de la respuesta correcta de la estación meteorológica.

- Si este control no se supera no se pueden introducir los datos en la base. Se envía automáticamente un aviso por correo electrónico del mal funcionamiento producido por la descarga automática o un mensaje de error en caso de la descarga de manual.
- Control de la posible superposición con los datos existentes en la base de datos. En particular, para los datos cargados manualmente. Para los datos automáticos, se establece en cada caso si el modo de sobre escritura está activa o no.

FASE DE CONTROL AUTOMÁTICO

Nivel 1. Valores numéricos correctos.

Control que no haya dos valores en el mismo instante:

- Si hay dos valores iguales, se inserta sólo uno de los dos y el nivel es superado.
- Si los dos valores son diferentes este control no es superado, la base de datos indica dónde están las cifras dobles. Para la descarga manual es necesario corregir los datos antes de ponerlos en la base, mientras que en el registro automático se deberán corregir los datos en modo manual.

Control del instante de medida: las fechas deben ser siempre crecientes.

- Si este control no es superado, es necesario indicar en qué estación no se dan los datos con fechas crecientes.

Controlar que los datos no sean negativos para el nivel hídrico o la precipitación. A continuación se ven varios ejemplos de valores posibles:

- Altura hídrica (curso de agua): de 0 e 8 m.
- Altura hídrica (lago Verbano): de 191 m s.l.m. a 201 m s.l.m.

- Altura hídrica (lago Lugano): de 269 m s.l.m. a 274 m s.l.m.
- Altura hídrica (lago Muzzano): de 337 m s.l.m. a 339 m s.l.m.

Nivel 2. Valores sensatos para la estación.

Precipitación:

- Control de que el tiempo entre un impulso (pluviómetro de balancín) y el siguiente sea superior a un segundo.
- Integración de datos cada 10 minutos.
- Respetar el umbral máximo de lluvia en 10 minutos (40 mm.)
- El nivel hídrico debe de estar en una franja de datos posibles entre 0 y la capacidad máxima del cauce. Para los lagos se establece un rango de valores aceptables.

A continuación se añade la tabla que relaciona las diferentes estaciones de medida del calado con sus máximos y mínimos:

3.1.2.3. Tabla 2: Niveles hídricos

Estación	Nivel mínimo	Nivel máximo registrado	Nivel máximo posible
Riale di Gnosca (Gnosca)	0	1.25	1.50
Canale di Bonifica (Quartino)	0	2.36	2.60
Laveggio Segoma (Riva San Vitale)	0	1.98	2.50
Salto (Maggia)	0	3.86	5.00
Calcaccia (Airolo)	0	1.50	2.00
Vedeggio (Isonne)	0	1.92	2.50
Mara (Maroggia)	0	2.46	3.00
Ticino (Ronco Bedretto)	0	2.59	3.50
Laveggio Penate (Mendrisio)	0	1.96	2.50
Scairolo (Barbengo-Lugano)	0	2.18	2.50
Vecchio Vedeggio (Agno)	0	1.65	2.00
Bolletta (Porto Ceresio)	0	2.44	3.00
Cuccio (Porlezza)	0	1.56	2.00
Rovana Presa (Campov.Maggia)	0	1.81	2.50
Rovana Thompson (Campov.Maggia)	0	2.30	3.00
Rovana Secada (Campov.Maggia)	0	2.26	3.00
Maggia (Lodano)	0	5.09	7.00
Deversagna (Arbedo)	0	-	2.50
Deversagna (roggia dei mulini)	0	-	0.50
Morobbia - Giubiasco	0	-	3.00

Temperatura:

- Se define un rango de confianza para cada mes y cada estación. El intervalo de confianza se determina con base en un análisis estadístico de las temperaturas históricas que ya están en nuestro poder, varios años de mediciones, para dichas estaciones. Estos límites pueden extenderse si resultan demasiado estrechos
- El rango de confianza ha sido definido para cada estación y para cada mes. Dicho rango se ha definido sobre la base de *MeteoSwiss* promediando las temperaturas mensuales en la estación de Locarno Monti. Para obtener los límites de los rangos se añadió o restó 4 veces la desviación estándar. Luego se aplicó un gradiente de elevación de corrección de la temperatura sobre la base de la diferencia de altura entre las diversas estaciones en cuestión y Monti Locarno.
 - o Si los datos están fuera de este rango de confianza el nivel 3 de validación no se supera.

(Monti Locarno es la estación que se ha utilizado como referencia para crear el rango de validación, porque pertenece a Meteo Swiss, pero este rango no ha sido comprobado, ni tampoco ha sido comprobado que deba ser 4 veces la desviación estándar. Se presentan dos problemas, uno es que dicha estación se encuentra a baja altura, para solucionarlo se ha hecho una corrección altitudinal y en las proximidades de un gran lago, lo cual puede resultar que los datos de esta estación en concreto no sean representativos.)

A continuación se añaden las tablas donde se recogen dichos rangos:

3.1.2.4. Tabla 3: Rango máximo de temperaturas

Máximo °C	Ene	Febr	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Setp.	Oct	Nov.	Dic.
Isonne	15.3	22.6	24.2	26.0	30.1	34.7	34.6	34.4	28.5	23.8	21.3	16.6
Novaggio	16.4	23.7	25.3	27.1	31.2	35.8	35.7	35.5	29.6	24.9	22.4	17.7
Caverigno	17.5	24.8	26.4	28.2	32.3	36.9	36.8	36.6	30.7	26.0	23.5	18.8
Carena	14.3	21.6	23.2	25.0	29.1	33.7	33.6	33.4	27.5	22.8	20.3	15.6
Colla	13.0	20.4	21.9	23.7	27.8	32.4	32.3	32.2	26.2	21.5	19.0	14.3
Canobbio-Trevano	18.0	25.4	27.0	28.8	32.9	37.5	37.3	37.2	31.2	26.5	24.1	19.4
Biasca - Val pontirone	11.6	18.9	20.5	22.3	26.4	31.0	30.9	30.7	24.8	20.1	17.6	12.9
Grancia	18.0	25.4	27.0	28.8	32.9	37.5	37.3	37.2	31.2	26.5	24.1	19.4

3.1.2.5. Tabla 4: Rango mínimo de temperaturas

Mínimo °C	Enero	Febrer	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Setp.	Octu	Novi.	Dicie.
Isonne	-10.7	-13.4	-10.5	-8.0	-3.2	-0.9	3.5	3.8	0.1	-4.3	-8.5	-10.9
Novaggio	-9.6	-12.3	-9.4	-6.9	-2.1	0.2	4.6	4.9	1.2	-3.2	-7.4	-9.8
Caverigno	-8.6	-11.2	-8.4	-5.8	-1.0	1.2	5.7	5.9	2.3	-2.1	-6.3	-8.7
Carena	-11.7	-14.4	-11.5	-9.0	-4.2	-1.9	2.5	2.8	-0.9	-5.3	-9.5	-11.9
Colla	-13.0	-15.7	-12.8	-10.3	-5.5	-3.2	1.2	1.5	-2.2	-6.6	-10.8	-13.2
Canobbio-Trevano	-8.0	-10.6	-7.8	-5.2	-0.5	1.8	6.2	6.5	2.8	-1.5	-5.7	-8.1
Biasca - Val pontirone	-14.4	-17.1	-14.2	-11.7	-6.9	-4.6	-0.2	0.1	-3.6	-8.0	-12.2	-14.6
Grancia	-8.0	-10.6	-7.8	-5.2	-0.5	1.8	6.2	6.5	2.8	-1.5	-5.7	-8.1

Nivel 3. Analisis de la serie temporal.

Este nivel aún no ha sido implementado en el sistema de validación de datos. Por lo tanto lo aquí expuesto es meramente teórico.

Serie continua (niveles de agua, temperatura del aire y la temperatura del agua):

- El control de la plausibilidad de los datos basados en el análisis de los datos registrados en las últimas 24/48 horas;
 - o Si no hay diferencia entre el mínimo y máximo de las últimas 24 horas, este nivel no se supera. Se deberá establecer mediante el envío de un correo electrónico al técnico que el sensor está bloqueado.
 - o Para el control de la variación diaria de la temperatura, si la variación observada es inferior a tres veces el valor medio cuadrático para ese día y estación, se supera el nivel (*ARPA Emilia-Romaña 2011*).
- Los controles sobre los niveles de agua se deben definir para cada estación, como el tipo máximo de aumento (o disminución) del nivel de agua en un intervalo de tiempo dado. Si esta tasa se rebasa, éste nivel no se supera. La tabla donde se deberían recoger dichos rangos aún no ha establecida.
- Control de la presencia de lagunas, secuencias de tiempo sin datos.
 - o En el caso de que los intervalos de muestreo no sean análogos, el código se señalará con un 2 al final del "hueco"(actualmente 110).
- Rellenado de estos huecos a través de una interpolación lineal (la definición de la amplitud máxima de éstas lagunas por encima del cual la operación ya no puede realizar de una manera automática):
 - o Para la temperatura del aire y el agua: se puede hacer una interpolación lineal para huecos de hasta tres horas.
 - o Altura del agua: se puede hacer una interpolación lineal en huecos de hasta 30 minutos.

- En o por encima de estos límites, los datos que faltan se sustituyen por -999.9. Los datos marcados con -999,9 puede ser modificados con una corrección manual.

Serie discontinua (precipitación):

- Comprobación de la verosimilitud de los datos sobre la base de las precipitaciones extremas para un período de retorno de 300 años (de abril a octubre) y 100 años (de noviembre a marzo) con duraciones de 30 min, 1 h, 3 h, 6 h, 12 h y 24 h. Estas curvas se derivaron sobre la base de los coeficientes definidos en el Atlas de hidrología Suiza, según se muestra a continuación:

3.1.2.6. Tabla5: Precipitaciones

	Periodo estival						Periodo invernal					
	30 min	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	30 min	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
Olivone	35.4	49.4	83.7	116.7	162.8	227.0	31.6	44.0	74.1	103.1	143.4	199.4
Bedretto	50.6	66.4	102.0	133.8	175.4	230.0	44.1	57.9	89.1	116.9	153.4	201.3
Fusio paese	68.0	88.1	132.7	171.9	222.5	288.2	59.4	76.9	115.9	150.2	194.6	252.2
Frasco	56.9	80.0	137.4	193.3	272.0	382.6	49.7	69.9	120.1	168.8	237.5	334.0
Lodrino	59.2	78.3	122.1	161.5	213.7	282.8	51.3	67.9	105.9	140.1	185.3	245.2
Gnosca	70.6	90.2	132.9	169.8	216.9	277.0	60.9	77.9	115.0	147.0	187.9	240.2
Maggia	65.4	90.1	149.8	206.5	284.5	392.1	57.3	78.9	131.0	180.4	248.3	341.9
Camedo	75.6	106.3	182.3	256.1	360.0	505.9	66.0	92.9	159.5	224.3	315.5	443.7
Isonne	76.5	98.0	145.1	185.8	237.9	304.6	66.2	84.9	125.8	161.3	206.8	265.1
Mendrisio	58.2	75.9	115.8	151.1	197.1	257.2	51.4	66.9	101.8	132.7	172.9	225.3
Chiasso	75.4	94.5	135.1	169.3	212.1	265.8	65.3	81.9	117.2	147.0	184.4	231.2
Arosio	66.0	85.3	128.1	165.5	213.9	276.5	57.9	74.9	112.5	145.5	188.1	243.2
Giubiasco	80.6	102.1	148.4	187.9	237.9	301.2	69.3	87.9	128.0	162.4	205.9	261.1
Somazzo	60.5	78.5	118.7	154.0	199.9	259.4	53.1	68.9	104.1	135.0	175.2	227.2

Campo Valle Maggia	100.7	126.2	180.3	225.7	282.6	353.6	85.7	107.8	155.2	195.2	245.6	308.9
Camedo diga Palagnedra	75.6	106.3	182.3	256.1	360.0	505.9	66.0	92.9	159.5	224.3	315.5	443.7
Fusio diga Sambuco	68.0	88.1	132.7	171.9	222.5	288.2	59.4	76.9	115.9	150.2	194.6	252.2
Luzzone Diga	35.7	49.4	82.8	114.8	159.0	220.2	31.8	44.0	73.4	101.3	140.0	193.4
Novaggio	73.1	92.9	135.9	172.7	219.5	279.0	63.5	80.9	118.7	151.2	192.5	245.2
Caverigno	86.5	109.6	159.6	202.3	256.3	324.7	74.6	94.9	138.9	176.8	224.8	286.0
Carena	64.4	84.3	129.2	169.1	221.3	289.7	56.5	73.9	113.1	148.0	193.5	253.2
Colla	67.6	85.6	124.4	157.4	199.3	252.3	59.2	74.9	108.9	137.9	174.7	221.2
Canobbio- Trevano	69.8	88.1	127.5	160.9	203.1	256.3	60.8	76.9	111.5	140.9	178.2	225.2
Biasca - Val pontirone	46.5	62.6	100.2	134.9	181.6	244.4	40.9	54.9	87.8	118.0	158.7	213.3
Grancia	70.0	88.4	127.9	161.5	203.8	257.3	60.8	76.9	111.7	141.3	178.8	226.2

Nivel 4. Analisis espacial.

Este nivel aún no ha sido implementado en el sistema de validación de datos. Por lo tanto lo aquí expuesto es meramente teórico.

- No se realiza para los niveles de agua y temperatura del agua.
- Temperatura del aire: la comparación con todos los datos adquiridos y comprobación de coherencia.
- Precipitación; comparación con los datos de radar:
 - o Se considera un buffer de 3 km alrededor de la estación y se calcula el promedio de lluvia y el de desviación estándar en éstos píxeles.

- Si el promedio de lluvia en una hora así calculado es inferior a 1 mm, no se lleva a cabo este nivel de control.
- Si la lluvia registrada en una hora es cero y el promedio del radar de lluvia en una hora es mayor que 1 mm, entonces el nivel 4 de la validación no es superado.
- Si la lluvia registrada durante 3 horas es cero y el promedio de lluvia en el radar 3 horas es mayor de 3 mm, entonces el nivel 4 de la validación falla.
- Precipitación: comparación con los datos diarios de los 3 pluviómetros más cercanos:
 - Si la lluvia registrada en el pluviómetro durante 3 horas es cero y la registrada en los 3 pluviómetros más cercanos es mayor que 10 mm, el nivel de calidad no se supera.
 - Éste punto sólo es aplicable para el período de noviembre a finales de marzo, donde existe fusión nival en los días sin precipitación: si la lluvia registrada en el pluviómetro en análisis (en 3 horas) es mayor que 1 mm y la de los 3 pluviómetros más cercanos es igual a cero, el nivel de calidad no se supera.

FASE DE CONTROL MANUAL

Esta fase se lleva a cabo con una frecuencia variable. Es necesario que exista una memoria de quien ha cambiado cada dato, cuál ha sido el criterio seguido, de qué período y cuál fue el nivel de la validación automática aprobada previamente. El operador puede cambiar los datos que habían superado inicialmente cualquier nivel de la validación automática.

Nivel 5. Datos incorrectos.

En el caso donde el operador controle manualmente los datos, si se verifica que los datos que están mal y no se pueden corregir, se le asigna un nivel de calidad 5 (actualmente 310)

Nivel 6 Nivel final de calidad manual con corrección.

En el caso donde el operador controle manualmente los datos, si se verifica que los datos que están mal y se han corregido, se le asigna un nivel de calidad 6 (actualmente 320)

Nivel 7. Nivel final de calidad manual.

En el caso donde el operador controla manualmente los datos, se verifica que los datos son correctos y no hay necesidad de hacer ninguna corrección, se les asigna un nivel de calidad 7 (actualmente 330)

3.2. VALIDACIÓN DE DATOS HISTÓRICOS DE LA BASE DE DATOS

Además del procedimiento para la validación de los datos actuales, se debe encontrar una forma para que incluso a los datos históricos que entraron en la base de datos desde los años 70 se les puedan asignar índices de calidad.

El control manual de los datos diarios ya se ha ido efectuando año tras año y se incluyen en la publicación Anuario Hidrológico cantón del Tesino.

No se puede establecer el mismo procedimiento para la totalidad de la base de datos histórica que el que tiene la intención de implementar para los datos actuales ya que sería muy costoso hacer un control a toda la base de datos.

La metodología propuesta es por lo tanto, más simplificada, aunque todavía es consistente con los principios y manuales de validación adoptadas históricamente.

3.2.1. Datos pluviométricos

La validación ha seguido los criterios que se describen a continuación:

- Mientras sólo se tenga acceso a los datos diarios, se asignará:

- Valor de calidad 8 (actualmente 330), datos publicados en el Anuario Hidrológico (o cuidadosamente controlados).
- El nivel de calidad 5 (actualmente 210, aunque no es exacto), si éstos datos no se publicaron el anuario hidrológico (o no se revisaron cuidadosamente). El nivel 5 corresponde a la validación automática, incluso si en realidad dichos controles no se han llevado a cabo. Esto significa que prácticamente los datos no han sido revisados para su publicación, pero no necesariamente que los datos estén equivocados.
- En caso de pluviómetros en las montañas que no se había instalado aún la calefacción, para derretir la nieve, el análisis requiere estudios específicos. Se asigna un índice de 1 (actualmente valor 100). En invierno se le asigna automáticamente el valor 6 (actualmente valor 310).

3.3. NUEVA BASE DE DATOS HIDROLÓGICOS

Con el fin de mejorar la accesibilidad y el uso de datos hidrometeorológicos, el Istituto de scienze della terra en los últimos años ha diseñado y probado un nuevo servicio Web, denominado Servicio de Observación del sensor (www.opengeospatial.org/normas/sos).

Además de acceder a datos sobre los criterios de búsqueda basados en períodos de tiempo, las propiedades observadas, la ubicación de las estaciones, los nombres de las estaciones, etc éste servicio le permite tener una variedad de características transaccionales, que permiten la gestión remota del sistema en completo acuerdo con las directivas Europea y Suiza sobre los datos espaciales. Para lograr que este sistema fuera capaz de explotar el potencial de GPRS, era necesario reestructurar la base de datos hidrológicos y desarrollar un software que implementa la norma. El software desarrollado, llamado istSOS, fue desarrollado íntegramente por el Instituto y está disponible bajo la licencia GPL (General Public License).

Más información sobre la estructura y el funcionamiento de istSOS se puede encontrar en: <http://istgeo.ist.supsi.ch/software/istsos/index.html>.

Después de un largo período de pruebas, el servicio Web es accesible por internet, y se pueden obtener además de los datos en tiempo real, todos los datos históricos disponibles.

Los anexos que siguen a la primera columna indica el acrónimo del sensor. Para realizar una solicitud del curso, en lugar de las alturas, basta con sustituir "A" con la "Q" (por ejemplo, se convierte en A_SCA_LUG en Q_SCA_LUG).

Además de los datos hidrométricos y las precipitaciones, se enumeran también otros datos climáticos, en los cuales no se realizó una validación (índice de calidad es siempre 1, actualmente 100), pero que están, sin embargo presentes en su totalidad en la base de datos.

Actualmente, sólo faltan los datos de temperatura de los cursos de agua. Durante el año 2012 también se va a facilitar dicha información.

Nótese que, cuando istSOS proporciona observaciones agregadas, estas están asociadas con el valor del tiempo de terminación del intervalo. Para ver más claramente el ejemplo siguiente:

Precipitación: 2010-03-27T09: 00:00,5.00

El valor 5 indica la cantidad de lluvia registrada en el rango $2010-03-27T08: 00:00 < T \leq 2010-03-27T09: 00:00$.

4. ESTADO DEL ARTE

- El sistema de control de calidad se compone de dos partes principales: los métodos automáticos de control de calidad y los métodos manuales de control de calidad. Lo ideal sería que no fuese necesario el método manual de control. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que los controles manuales son extremadamente importantes. (Marta Salvati, Erica Brambilla, 2004)

- En el control de calidad de los datos en bruto (mediciones de la señal) se eliminan los errores técnicos de los dispositivos, incluidos los sensores, errores de medida (sistemático o aleatorio) y los errores inherentes a los procedimientos y métodos de medición. El control de calidad en esta etapa incluye un chequeo de error grosero, un chequeo temporal básico y un chequeo interno de consistencia. (I. Zahumensky, 2002)
- El control de calidad de los datos procesados se trata de la comprobación exhaustiva de la consistencia temporal e interna, la evaluación de los sesgos y desviaciones a largo plazo de los sensores y módulos, el mal funcionamiento de los sensores, etc. (I. Zahumensky, 2002)
- El Centro de datos nacional de los estados Unidos, NCDC, a menudo utiliza métodos estadísticos para resolver el problemas de la validación de datos como la desviación estándar para la eliminación de valores atípicos (posiblemente erróneos) (Thomas Reek 1992)
- El enfoque de control de calidad a partir de los casos simples antes de abordar los difíciles produce resultados sorprendentemente buenos. La idea básica es - entre otras - es eliminar primero a los casos obvios antes de abordar los más complejos. En principio, ésta es también la manera de cómo un observador humano experimentado tratará de separar los datos de buena calidad y los de mala. (T. Einfalt, N. Gerlach, C. Podlasly, N. Demuth, 2008)
- Los límites superior e inferior de los datos puede ser umbrales “duros” (los valores físicamente imposibles) o umbrales suaves (valores derivados empíricamente) (T. Einfalt, N. Gerlach, C. Podlasly, N. Demuth, 2008)
- Las pruebas estadísticas, el conocimiento local y la investigación de los datos históricos de la estación o la comparación con las estaciones vecinas se pueden aplicar para determinar si un valor precipitación es erróneo. (Viney and Bates, 2004)

- El rango de validez de los datos se define como parte dentro de cuatro desviaciones estándar (STD) de la media climatológica del valor para el día, es decir, [media \pm 4_std]. Los valores diarios de temperatura fuera de este rango son controlados manualmente y editados en una base, caso por caso. (L. V. Alexander, X. Zhang,4 T. C. Peterson,5, 2005)
- Entre las características principales que debe tener un sistema de validación de datos hidrológicos podemos destacar el conocimiento de los márgenes admisibles de funcionamiento correcto para la magnitud física que se está midiendo, la utilización del conocimiento existente sobre el comportamiento del sistema hidrológico, capacidad de trabajar con información imprecisa.(Guzmán, Conejo,2001)
- La comprobación de coherencia espacial se utiliza para identificar los valores extremos que no son espacialmente coherentes con los medidores de vecinos (Kondragunta, 2001)
- Hay cuatro pasos que intervienen en la identificación de valores atípicos: El primer paso consiste en el cálculo de la mediana, percentil 25 y 75 del conjunto de datos en cuestión, el segundo paso consiste en el cálculo de la desviación media absoluta (MAD) El tercer paso implica el cálculo de un índice (Madsen, 1993) para cada estación, en el cuarto paso el índice calculado en el paso tres se compara con un valor umbral predefinido (definido por el usuario). Si el índice es mayor que el valor umbral predefinido, entonces los datos del pluviómetro se marcan como un valor atípico (outlier). (Kondragunta, 2001)
- Los datos deben pasar un control lógico, climatológico, temporal y espacial (Pavan, Tomozeiu, Selvini, 2003)
- Si un dato no supera alguno de estos test el dato no es fiable y debe ser reconstruido mediante la aplicación de uno o de diversos modelos (redundancia analítica) que permitan estimar su valor. (Quevedo, García, Puig y Saludes, 2011)

- El objetivo de este procedimiento (VALIDACIÓN DE DATOS) es obtener valores de calidad conocida con base a criterios definidos (Texas Commission on Environmental Quality, 2004; USEPA, 1998; USEPA, 2000).
- El proceso de validación consiste en evaluar la consistencia interna, espacial, temporal y física de cada conjunto de datos, para anular datos y localizar valores extremos (datos que son físicamente, espacialmente o temporalmente inconsistentes). (Márquez Estrada, 2006)
- Los sistemas de calidad de datos meteorológicos existentes se basan en indicar un parámetro de incertidumbre de los datos, este parámetro, llamado bandera de calidad, se presenta como un número que establece una categorización de calidad de los datos o indica el nivel de calidad aplicado.(Maruri, L. Lantarón, Vallejo,2010)
- Las series temporales de datos que consideramos aquí tienen diferentes singularidades que aparecen con cierta frecuencia en el sistema hidráulico. Al observarse datos negativos se propone el uso de una red neuronal artificial (ANN) para interpolar estas anomalías. La red ANN más común es la red feedforward, que utiliza el algoritmo de propagación hacia atrás para el aprendizaje.(Herrera, García-Díaz , Izquierdo & R. Pérez-García, 2011)
- Las Redes Neuronales se están utilizando cada vez más para la predicción y la previsión de series de variables como la lluvia, caudal, nivel del agua, etc. En la mayoría de las publicaciones, se da una buena descripción de la teoría básica de las Redes, sin embargo, el modelado de proceso se describe generalmente mal. (Maier, Dandy, 1999).

CAPITULO 2 MATERIALES Y METODOS

1. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

1.1. Elección de la zona de estudio

Para la realización del presente trabajo se obtuvo una beca Erasmus prácticas concedida por la Universidad Politécnica de Valencia la cual incluía un convenio de colaboración con la universidad Suiza Escuela Universitaria profesional de la Suiza italiana, en concreto con el departamento de ambiente, construcción y diseño del Instituto de Ciencias de la Tierra. Una vez en contacto con dicha universidad Suiza, el profesor al cargo planteó el estudio y propuesta de mejora del actual sistema de validación de datos, pues una prioridad para él.

Posteriormente se decidió centrar el ámbito de estudio en la cuenca vertiente del río Rovana, Cantón del Tesino, por razones logísticas, de cercanía a las propias instalaciones de la universidad, de representatividad dentro del área del Tesino y por poseer una base de datos hidrológicos muy extensa.

Se cuenta además con la ayuda material de la Escuela Universitaria profesional de la Suiza italiana, compuesta de material informático, tanto ordenadores como programas, de vehículo para desplazarse a la zona de la cuenca cuando sea necesario, estación total para la realización de las medidas de campo etc.

Dicha cuenca tiene una extensión de 110.3 Km², está situada en el área alpina del Tesino y posee varios pluviómetros que se utilizarán para validar el sistema aquí propuesto. Dicha zona es asimismo sensible a posibles avenidas, por lo cual urge aumentar el conocimiento de la dinámica hidrológica de la zona y la veracidad de los datos aportados.

1.2. Suiza y el cantón Ticino

Suiza oficialmente conocida como Confederación Suiza o Helvética, es un país sin salida al mar ubicado en Europa central. Es una república federal de 26 estados, llamados cantones. Berna es la sede de las autoridades federales, mientras que los centros financieros del país se encuentran en las ciudades de Zúrich, Basilea, Ginebra y Lugano.

Suiza con un área de 41.285 km² se extiende sobre las laderas norte y sur de los Alpes, comprendiendo una gran variedad de formas de relieve y climas. La población total es de algo más de 7,7 millones de habitantes, resultando en una densidad de población de unos 187 h/km².

Suiza se puede dividir en tres áreas topográficas básicas: los Alpes suizos en el sur, que es el área donde se centra el presente estudio, la meseta suiza en el centro, y las montañas de Jura en el norte.

1.2.1. Mapa 1: Situación de Suiza en Europa.



La parte norte del país es la más poblada, ocupando cerca del 30% de la superficie, es también llamada meseta o Tierra Media (Mittelland). Cuenta con amplios valles con colinas, bosques y pastizales, usualmente utilizados para la agricultura y la ganadería. Es en esta zona donde se ubican las ciudades y los lagos más grandes de Suiza. El lago más grande del país es el lago Lemán, situado en la parte oeste y compartido con Francia.

El clima es por lo general templado, pero puede variar mucho de localidad a localidad, de las condiciones glaciares en la cima de las montañas a un clima casi mediterráneo en el sur del país. Los veranos suelen ser cálidos y húmedos con lluvias periódicas que ayudan al desarrollo de la agricultura en la región. Los inviernos en las montañas alternan días de sol y nieve, mientras las tierras más bajas tienden a tener días nublados y neblinosos. Las zonas con menos precipitaciones son los valles del sur en el Valais, donde se cultiva azafrán y viñedos para la producción de vinos. En la zona de Los Grisones los inviernos también tienden a ser más secos y ligeramente más fríos, aunque suelen recibir abundantes nevadas en invierno. Las condiciones más húmedas del país persisten en las alturas de los Alpes y en el cantón del Tesino, donde las lluvias y nevadas

son comunes. La zona Este tiende a ser más fría que la zona Oeste del país, además de que las precipitaciones suelen ser escasas a lo largo del año.

Los ecosistemas de Suiza pueden ser particularmente vulnerables, lo cual se debe a que los múltiples valles separados por las montañas a menudo forman ecosistemas únicos muy delicados. Las regiones montañosas en sí son también vulnerables, con una amplia gama de plantas que no se encuentran a esas altitudes en otras partes del mundo, pero que se enfrentan el maltrato de los visitantes y de la ganadería.

1.3. Los Alpes

Los Alpes son una cordillera de altas montañas que corren al centro y sur del país, ocupando cerca del 60% de la superficie total. Los Alpes conforman la cabecera de algunos de los ríos más importantes de Europa, como el Rin, el Ródano, el Eno, el Aar y el Tesino. Otros ríos corren por el país y desembocan en los grandes lagos que hay en el territorio nacional como el lago Lemán, el lago de Zúrich, el lago de Neuchâtel o el lago de Constanza.

La montaña más famosa del país es el Cervino (4.478 msnm) en los Alpes Peninos, formando parte de la frontera con Italia. Otras de las montañas más altas del país se encuentran en esa zona: la Punta Dufour (4.634 msnm), el Dom (4.545 msnm) y el Weisshorn (4.506 msnm). En la sección de los Alpes berneses, al norte de Lauterbrunnen, se encuentra un valle con 72 cascadas, también conocido por los montes Jungfrau (4.158 msnm) y Eiger (3.970 msnm), y otros de los valles más pintorescos de la región. En el sureste destaca el valle de Engadina, donde se encuentra la comuna de Sankt Moritz, y el pico más alto de la zona es el Piz Bernina (4,049 m).

1.3.1. Origen

Los Alpes conforman una barrera climática en el país: al norte, que ocupa la mayor parte de la superficie, el clima es templado, oceánico o continental según la orientación Este-Oeste de los vientos dominantes, con las cuatro estaciones perfectamente marcadas y delimitadas. Por el

contrario, en el territorio situado al Sur de los Alpes (el Valais, el Tesino y la Engadina) se da un clima más suave, de tipo mediterráneo.

La formación de esta cordillera es compleja, producto de una serie de fosas marinas de 245 a 65 millones de años atrás y al Cenozoico (en su primera parte, la era Terciaria), que abarcaron desde el Magreb hasta los Urales. La existencia de grandes fosas marinas en estas regiones y su posterior cierre debido a la convergencia de las placas continentales africana y europea provocó enormes plegamientos, en sentido norte y oeste primero, y después en sentido sur y este.

Estos plegamientos fueron la causa de que las placas sedimentarias de superficie fueran desplazadas en las mismas direcciones que los plegamientos. Aun así, en tiempos posteriores a los movimientos de compresión, se dieron desplazamientos de extensión, por flexión de las zonas levantadas, cosa que dio lugar a la difícil orografía actual de los Alpes.

1.3.2. Clima de los Alpes

El clima varía dependiendo de las zonas, por lo general hasta los 1.000 m predomina un clima templado con unas precipitaciones de entre 500-800 mm al año y unas temperaturas medias de -3 °C y 5 °C en invierno y entre 16 °C y 22 °C en verano.

A partir de los 1.000 metros de altitud las temperaturas bajan y las precipitaciones suben situándose por encima de los 1.000 mm anuales las temperaturas medias de verano están alrededor de 10 °C en verano y entre los -10 °C y los -3 °C en invierno y las precipitaciones son mayoritariamente de nieve de noviembre a abril.

A 1.800 m debido a los efectos de la altitud el Clima alpino es aún más extremo, las precipitaciones están alrededor de los 2.000 mm anuales las temperaturas están normalmente bajo cero entre 6 y 9 meses al año que oscilan entre los 3 °C y los 9 °C en verano y por debajo de los -8 °C en invierno y la nieve lo cubre todo de octubre a junio.

Por encima de los 3.000 m está la zona de los glaciares y la nieve perpetua con temperaturas medias mensuales casi siempre por debajo de los 2 ó 0 °C

1.3.3. El cantón Tesino

El cantón del Tesino (en italiano, Ticino; *tichino*) es el cantón más meridional de Suiza, se encuentra sobre la vertiente sur de los Alpes. El nombre deriva del río homónimo que atraviesa subiendo por el Passo della Novena hasta el Lago Mayor. El cantón del Tesino es casi enteramente de lengua italiana (a excepción del municipio de Bosco/Gurin). El cantón forma junto con algunas regiones del cantón de los Grisones la llamada Suiza Italiana.

El cantón Tesino está casi enteramente circundado por Italia, con la que limita al este, oeste y sur. Al norte limita con los cantones de Valais y Uri, y al noreste con el cantón de los Grisones.

Su superficie es de 2.812 km², de los cuales cerca de tres cuartos son considerados como terreno productivo. Los bosques cubren cerca de un tercio del cantón. También los lagos Mayor y Lugano ocupan una parte considerable del cantón.

1.4. Meteorología en Suiza.

Los vientos dominantes en Suiza son el Foehn y el Bise. El Foehn es un viento fuerte, cálido y seco, que se produce cuando un viento ha circulado sobre una cadena montañosa para descender por la otra vertiente, habiendo perdido de ese modo toda su humedad. El Bise es un viento procedente del norte, frío y seco, que nace en el nordeste de Europa y sopla a través de las llanuras continentales, alcanzando especialmente la zona de la meseta suiza.

Tratándose de un país con una variada orografía y dotado de fuertes contrastes, existe en consecuencia en Suiza una gran variedad de microclimas.

Hay también un elevado contraste respecto de las lluvias. Las precipitaciones anuales son muy altas en los Alpes y el cantón del Tesino (del orden de 2.000 mm anuales) pero son mucho más escasas en el valle del Ródano (unos 600 mm anuales).

Los cantones del Valais y del Tesino se benefician de un elevado número de horas de sol al año (alrededor del 60 %), mientras que la meseta suiza tiene alrededor del 50 % en verano, para caer hasta el 20 % en invierno.

El primer factor que incide en las temperaturas es, lógicamente, la altitud, lo que debe ser tenido en cuenta. La red del Instituto Suizo de Meteorología, MeteoSwiss, cubre la totalidad del país y a partir de sus mediciones pueden ofrecerse los siguientes datos generales:

- La temperatura media de la meseta suiza en el mes de enero se encuentra entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en el mes de julio se encuentra entre $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $19\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura media anual es en esta zona de entre $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $9\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- La temperatura media anual más alta de Suiza corresponde a Locarno-Monti, al sur del país, con $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- La temperatura media anual más baja de Suiza corresponde al puerto de montaña del Jungfrauoch, con $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Para altitudes comparables, la temperatura en la región de Basilea y en el valle del Ródano es entre 1 y $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ más elevada, mientras que es entre 2 y $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ más alta en la llanura de Magadino, en el cantón del Tesino.

Gracias a su orografía montañosa y su asociación con la captura de precipitaciones, Suiza es conocida como el productor de agua de Europa. Como justificación de esta afirmación se puede ver el siguiente ejemplo: Suiza proporciona el 45% de la descarga del Rin cuando llega a los Países Bajos, aunque sólo representa el 21% de su cuenca de recepción.

1.4.1. Precipitación

La precipitación media anual en Suiza es de 1458 mm (2002a Schadler y Weingartner) .

En cuanto a la precipitación en Suiza, se recogen a continuación datos la red suiza de estaciones de medición de (MeteoSwiss) que permiten hacerse una idea preliminar de la magnitud de las precipitaciones en el país.

1.4.1.1. Tabla 6: Datos generales sobre la precipitación en Suiza

Statistics		
Mean annual precipitation Switzerland (1961–1990)	1458 mm	Source: SCHÄDLER & WEINGARTNER 2002a
Min. mean annual precipitation (1951–1980)	522 mm Ackersand (VS)	Source: KIRCHHOFER & SEVRUK 1992
Max. mean annual precipitation (1951–1980)	3142 mm Mönchsgrat (VS/BE)	Source: KIRCHHOFER & SEVRUK 1992
Maximum annual precipitation	5910 mm Mönchsgrat (VS/BE) 1939/40	Source: MeteoSwiss
Maximum daily precipitation	500 mm Maggia (TI), 10.9.1983	Source: GEIGER et al. 1991
Maximum hourly precipitation	105 mm Sternberg (ZH), 23.6.1930	Source: GEIGER et al. 1991
Maximum precipitation within 10 minutes	50 mm Heiden (AR), 26.7.1895	Source: GEIGER et al. 1991
Longest drought	77 days Lugano (TI), 6.12.1988–20.2.1989	Source: MeteoSwiss

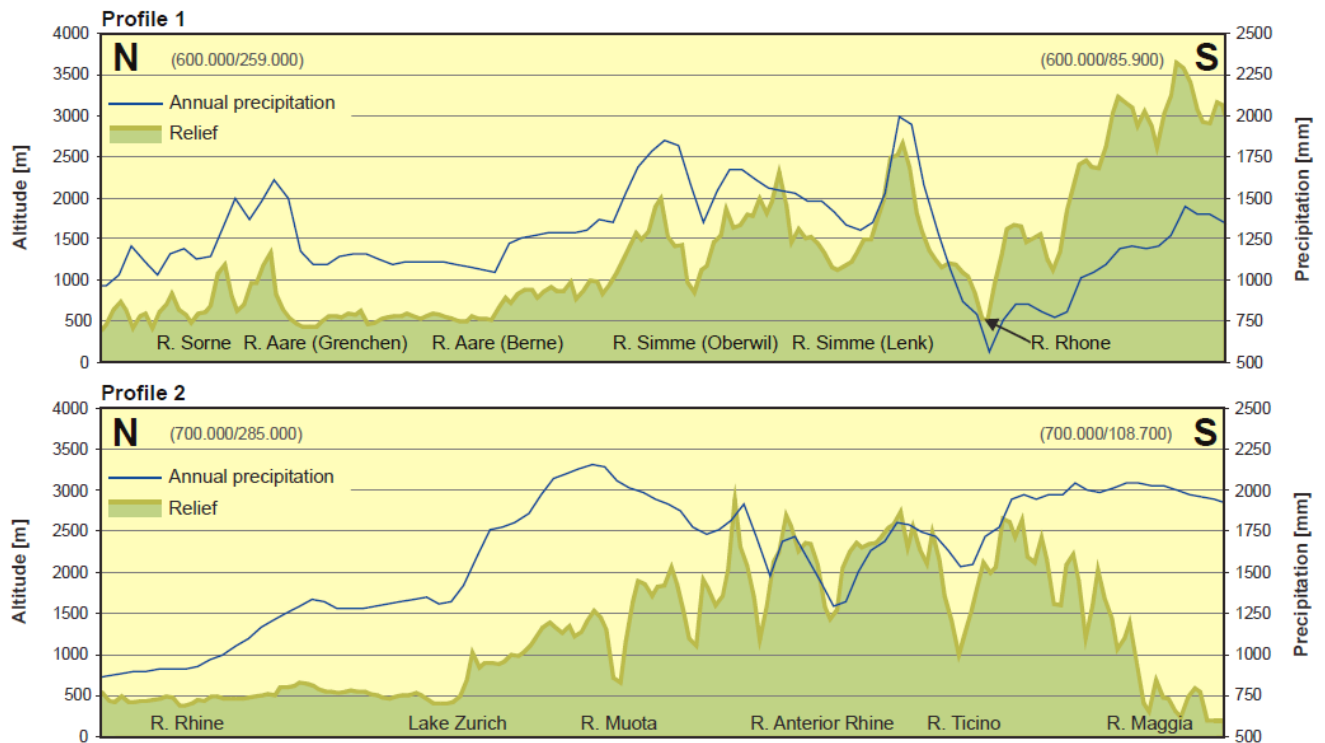
1.4.1.2. La influencia de la altitud

La influencia más obvia de las montañas puede ser vista en el hecho de que la precipitación aumenta con la altitud. En el lado norte de los Alpes de la precipitación se incrementa en alrededor de 70-80 mm por cada 100 m de altitud. Esta correlación se aplica especialmente a áreas bajo los 1500 m. Aunque éste hecho no es siempre cierto, como se comentará más adelante, lo que provoca que no pueda ser utilizado como baremo a la hora de la validación de datos.

La zona más húmeda se puede ver a lo largo del flanco norte de la cordillera alpina, con un máximo en el Oberland y los Alpes del Valais. Además, el conjunto del Tesino recibe una cantidad superior a la media de las precipitaciones. Las áreas que cuentan con las cifras más bajas de precipitación se encuentran bajo la sombra de la cordillera alpina.

En los Alpes, el 80% de la precipitación que cae por encima de 2000 m es en forma de nieve. Se puede observar en los siguientes gráficos la influencia de la altitud sobre la precipitación:

1.4.1.3. Gráfico 2: Relación de la precipitación con el relieve



Map of total annual precipitation (1971–1990) with two profiles (data: SCHWARB et al. 2001a).

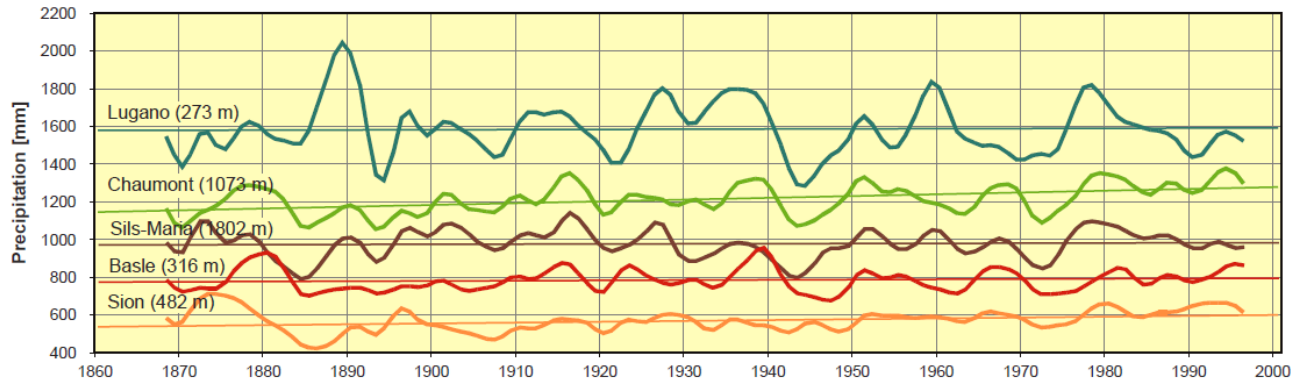
1.4.1.4. Precipitación estacional

La precipitación mínima se da en invierno y máxima en verano. Las cifras correspondientes a la primavera y el otoño son similares. De junio a agosto las precipitaciones son altas y principalmente en forma de lluvia. Las precipitaciones son mayores en los Alpes del sur en primavera y otoño.

En contraste la precipitación es menor en las partes central y oriental de los Alpes en este momento del año. La precipitación es más alta en el sur de los Alpes en primavera y otoño, con frecuentes vientos del sudoeste.

En la parte sur del Ticino se experimentan precipitaciones de más de 50 mm en unos 10 días al año. Los mismos totales diarios se pueden observar sólo una o dos veces año en el lado norte de los Alpes.

1.4.1.5. Gráfico 3: Comparativa de la precipitación con respecto a la altitud



Total annual precipitation (modified using Gaussian curves) and linear trends for selected stations. Slight increases on the Chaumont and in Sion (data: MeteoSwiss).

1.4.1.6. Hielo y nieve

Durante el la mitad invernal del año una gran parte de Suiza se encuentra bajo la nieve, lo que constituye una importante interrupción temporal en el ciclo del agua. La duración de esta retención varía enormemente, puede durar sólo unas semanas, días o incluso horas en las Tierras Bajas Centrales, la retención en los Alpes normalmente tiene una duración de meses. En los Alpes altos la nieve se puede convertir en el hielo duro de los glaciares y por lo tanto se puede almacenar durante muchos años.

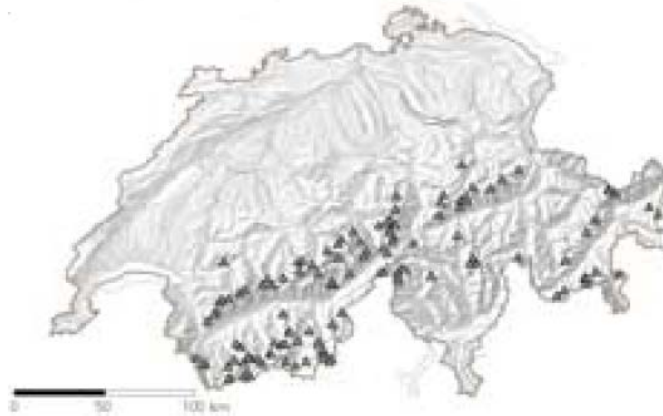
1.4.1.7. Tabla 7: Estadísticas del hielo y la nieve en Suiza

Statistics			
Greatest depth of snow in 24 h	160 cm	Simplon, 15.3.1980	Source: SLF
Greatest depth of snow ever measured	690 cm	Grimsel Hospice, 3.5.1970	Source: SLF
Mean no. of days with snow-cover at 500 m	48 days	Zurich	Source: MeteoSwiss
Mean no. of days with snow-cover at 2500 m	287 days	Weissfluhjoch (Grisons)	Source: SLF
Mean no. of destructive avalanches per winter	138		Source: SLF
No. of destructive avalanches in 1999	1200		Source: SLF
No. of glaciers in the Swiss Alps (1973/2000)	c. 2000	(recorded glaciers)	Source: MAISCH et al. 1999, 2004
Area covered by glaciers in Switzerland (1850)	1800 km ²	(4.4% of total land surface)	Source: MAISCH et al. 1999
Area covered by glaciers in Switzerland (1973)	1300 km ²	(3.1% of total land surface)	Source: MAISCH et al. 1999
Area covered by glaciers in Switzerland (2000)	1050 km ²	(2.5% of total land surface)	Source: MAISCH et al. 2004
Loss of glacier coverage (1850–1973)	500 km ²		Source: MAISCH et al. 1999
Loss of glacier coverage (1850–2000)	750 km ²		Source: MAISCH et al. 2004
Volume of all glaciers (1850)	c. 110 km ³		Source: MAISCH et al. 2004
Volume of all glaciers (1973)	c. 75 km ³		Source: MAISCH et al. 2004
Volume of all glaciers (2000)	c. 55 km ³		Source: MAISCH et al. 2004
Longest glacier (2003)	23.95 km	Great Aletsch Glacier	Source: GK/SANW & VAW/ETHZ 2003
Glacier ablation in 2003	> 5%	(volume)	Source: HÄBERLI et al. 2004

1.5. Glaciares

Los glaciares y su evolución son una prueba importante del cambio climático y las variaciones climáticas presentes. Desde el último máximo glacial en el extremo de la Pequeña Edad de Hielo en torno a 1850, los glaciares en general han reducido su tamaño. Entre 1850 y 2000 la superficie total de glaciares ha disminuido en más 40% y el volumen de todos los glaciares suizos por aproximadamente un 50%.

1.6. Mapa 2: Situación de los glaciares en Suiza



Location of the 120 regularly monitored glaciers within the Swiss Glacier Measuring Network (from MAISCH et al. 2004).

1.7. Medición de la descarga

Los niveles de agua y de descarga de los cauces se registran a través de mediciones periódicas realizadas a partir de la medición permanente en estaciones de aforo y con mediciones in situ.



Punto de medición

Radar Einsiedeln(Schwyz).

El nivel hídrico se registra de forma continua con empleo de flotadores, medida hidrostática o de radares. Los sistemas de radar tienen la ventaja de no necesitar ser instalado en el agua y por lo

tanto tiempo los instrumentos y las mediciones no son dañados o alterados por las ramas flotantes, la carga del lecho etc. Los puntos de medición tienen que ser representativos y al mismo tiempo que debe ser un lugar protegido y de fácil acceso



Aforo en Blatten (Valais).

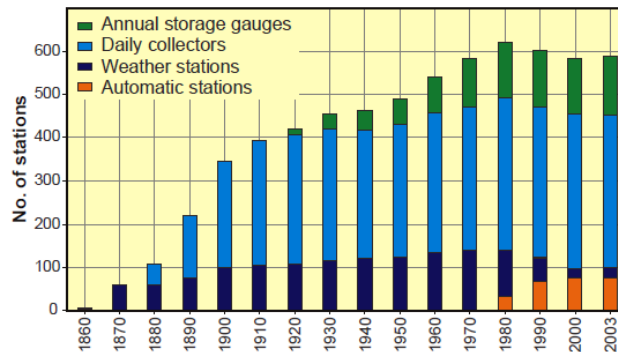
1.7.1. Estaciones de medición

Hoy en día la red suiza para la medición de la descarga comprende alrededor de 200 estaciones federales y 300 cantonales en pequeños cursos de agua y 30 estaciones a cargo de organismos privados.

1.7.2. Tabla 8: Estaciones de medición

Measuring network	Time scale	Stations
Weather stations	Half-day totals	25
Precipitation (NIME)	Daily totals	351
Annual storage gauges	Annual totals	137
ANETZ	10-minute intensity	68
ENET	10-minute intensity	5
Total		586

1.7.3. Gráfico4: Evolución de la red suiza de estaciones de medición de precipitación según WEINGARTNER 1992; (MeteoSwiss).



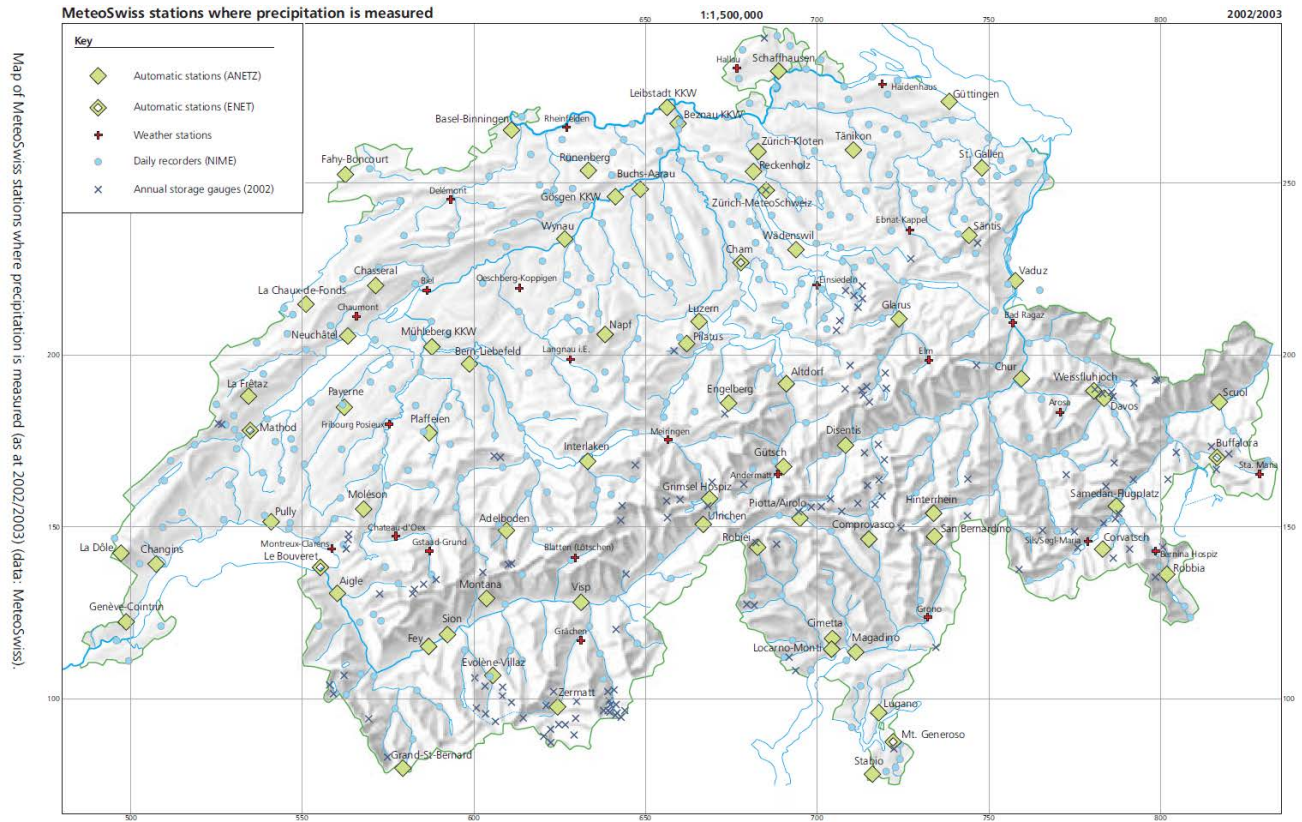
1.7.4. Redes de medición de precipitación operadas por MeteoSwiss

La red de estaciones meteorológicas de MeteoSwiss comprende alrededor de 600 estaciones. Con una media de una estación por cada 70 km² para la medición anual de la precipitación.

La densidad de estaciones varía de una región a otra a mayor altitud, las precipitaciones no se registran en detalle suficiente desde un punto de vista espacial debido a la dificultad de acceso y mantenimiento.

La observación sistemática de los niveles de agua en Suiza de lagos y ríos se inició en 1863 con la fundación de la Comisión hidrométrica suiza. Originalmente sólo se midieron los niveles de agua. En la segunda mitad del Siglo XX la red de medición federal fue considerablemente incrementada a través de la adición de estaciones cantonales y estaciones privadas de medición. Las estaciones de los cantones más pequeños observan principalmente ríos secundarios y arroyos (cuenca media 26 km²), mientras que la red de medición a cargo de la Swiss National abarca todos los principales ríos (cuenca media 210 km²).

1.7.4.1. Mapa 3: Posición estaciones meteorológicas de MeteoSwiss



1.7.5. Condiciones de descarga en Suiza

Existe una considerable variación en la descarga de un año a otro y de un área a otra. Hay sin embargo un grado de regularidad que se correlaciona con la altura de la cuenca.

Excluyendo los flujos que entran en Suiza, la media anual de descarga en Suiza es de $1296 \text{ m}^3 / \text{s}$. Éste volumen se distribuye uniformemente a través de los 41.285 km^2 de superficie del país que correspondería a una capa de 991 mm de agua.

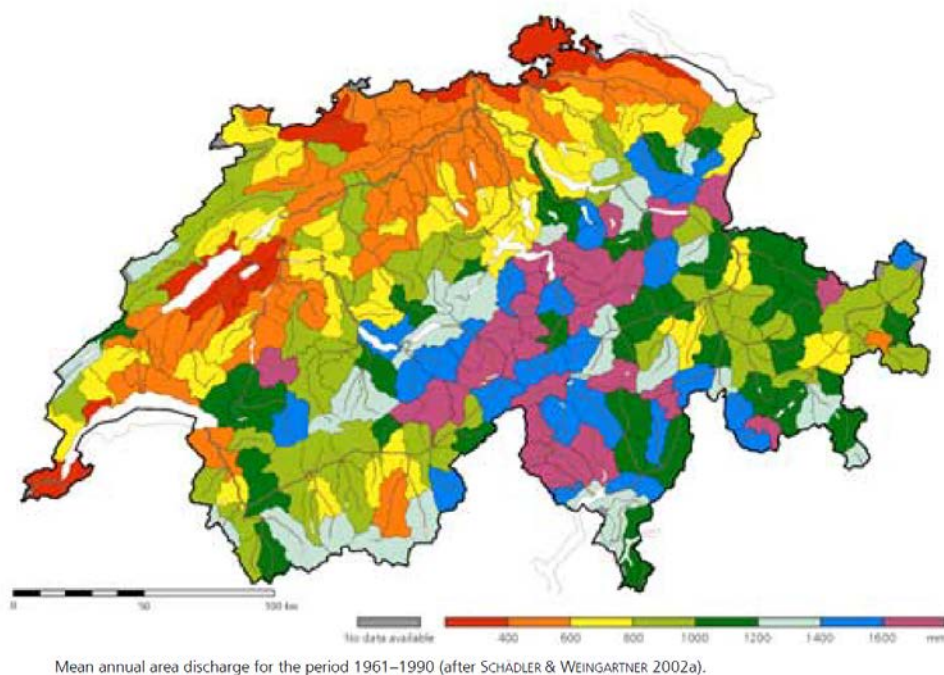
1.7.6. Tabla 9: Datos de las principales cuencas suizas

Catchment	Area [km ²]	Area discharge [mm/y]	Discharge vol. [m ³ /s]
Rhine	27,823	952	840
Rhone	7691	910	222
Ticino	3352	1458	155
Inn	1818	964	56
Adda	475	1360	20
Adige	126	836	3
Total Switzerland	41,285	991	1296

Mean annual discharge from various catchments in Switzerland (1961–1990) excluding inflow from other countries (SCHÄDLER & WEINGARTNER 2002a).

La descarga más alta se da a lo largo de la cresta principal de los Alpes con un volumen de más de 2000 mm por año. La más baja en los valles del centro de los Alpes y las Tierras Bajas Centrales. La descarga está por debajo de 300 mm por año a lo largo del Jura y en el norte de Suiza.

1.7.7. Mapa 4: Media anual por áreas de descarga.



1.8. Red hidrográfica Suiza

Suiza tiene el 6 % de todas las reservas de agua dulce de Europa. El país comparte cinco cuencas hidrográficas y algunos de los más grandes lagos en Europa occidental con sus vecinos, además de poseer considerables reservas de aguas subterráneas.

1.8.1. Lagos en Suiza

Suiza cuenta con 70 lagos naturales (con una superficie de más de 0,1 km²). Los lagos representan una superficie total de 1.422 km², o alrededor del 3,5% del país.

Hay numerosos lagos naturales en Suiza (lago de Ginebra, en el Ródano; lago de Constanza, en el Rin; lago Mayor, en el río Tesino) y lagos artificiales (Sihlsee, Grande Dixence). Los lagos y los embalses contienen el 50 % del agua almacenada, los glaciares el 28 %, el agua subterránea 20 % y los ríos 2 %. Tanto el Rin como el Ródano atraviesan en su recorrido un gran lago, que en ambos casos es fronterizo: el lago de Constanza, fronterizo con Austria y Alemania, para el Rin; y el lago Lemán, fronterizo con Francia, para el Ródano.

Los lagos de la zona llana del país son los de mayor superficie. Entre estos destacan los dos principales lagos de Suiza, ubicados cada uno de ellos en un extremo de la meseta suiza: el lago Lemán al oeste, con una superficie de 580,03 km², compartido con Francia, y el Lago de Constanza, al norte, compartido con Alemania y Austria y con una superficie total de 536 km². El tercer lago del país, el lago Mayor, con una superficie de 212 km², es un lago compartido con Italia, existente al sur del país. Por su parte, el lago de Neuchâtel, el mayor lago cuya superficie está completamente en el interior del territorio suizo, con 217,9 km², pertenece igualmente a esta tipología.

Con respecto a los lagos de montaña, algunos ejemplos son el lago de Silvaplana, a 1.799 m de altitud, en la Engadina, que tiene la peculiaridad de estar sometido a fuertes vientos constantes procedentes del puerto de montaña de la Maloja, lo que le hace apropiado para la práctica del windsurf y del kitesurf. Otro lago a destacar es el lago de Märjelen, lago de origen glaciar muy próximo al glaciar de Aletsch (en el cantón del Valais).



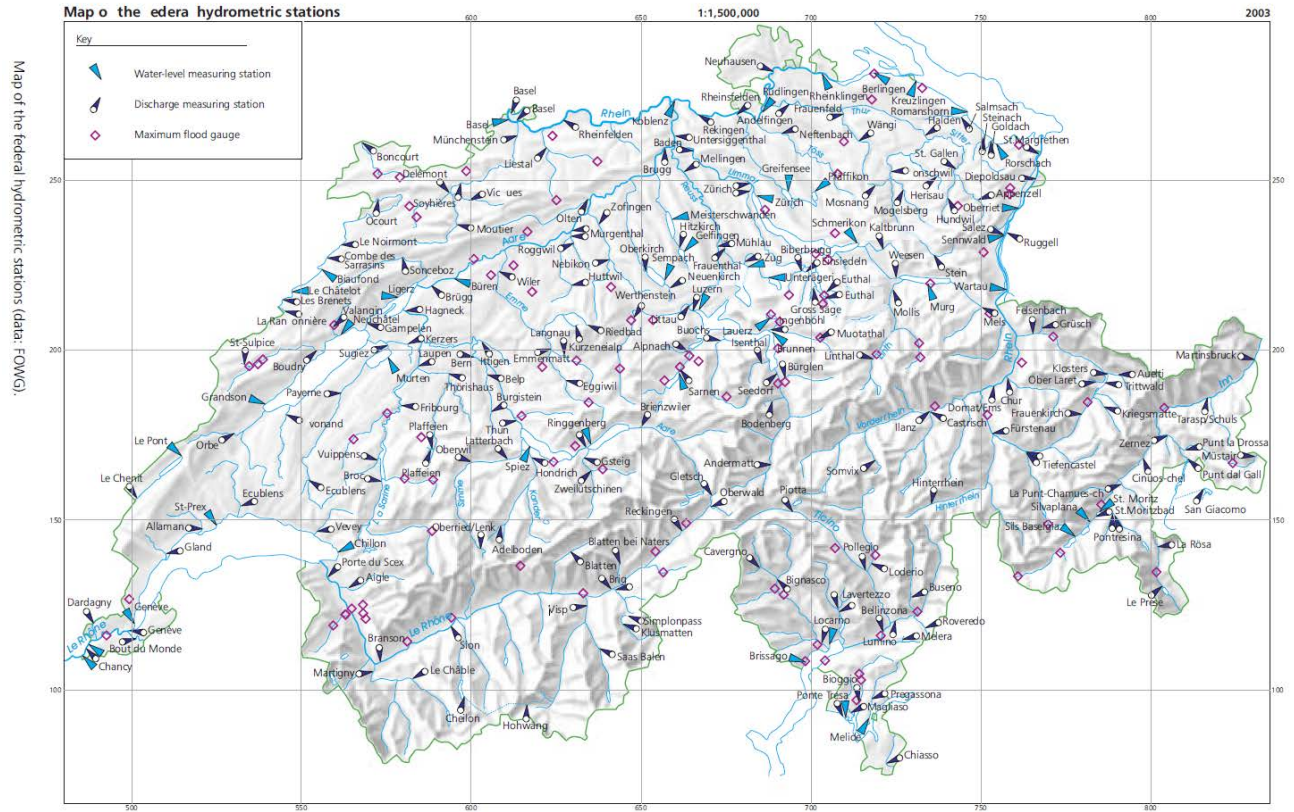
Vista del Lago Mayor, el punto más bajo de Suiza.

1.8.2. Tabla 10: Red de estaciones hidrométricas de Suiza.

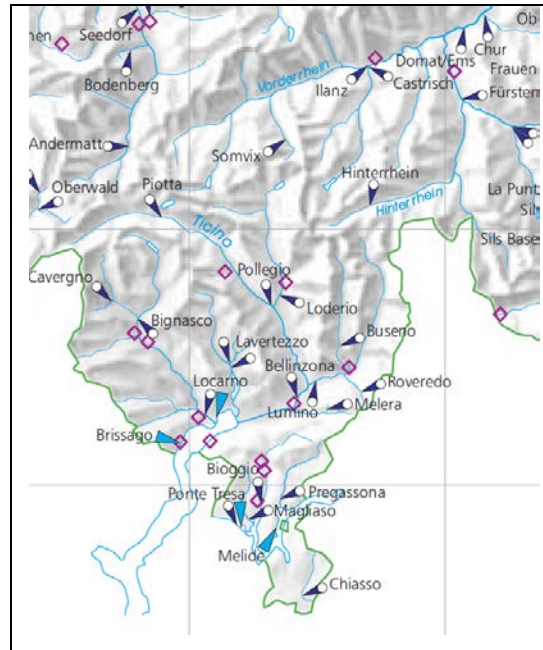
No. Lake		Surface	Volume	Max.
		area		depth
		[km ²]	[million m ³]	[m]
1	L. Geneva	581.3	89,900	310
2	L. Constance (upper and lower)	536.0	48,000	254
3	L. Neuchâtel	217.9	14,170	153
4	L. Maggiore	212.3	37,100	372
5	L. Lucerne	113.6	11,800	214
6	L. Zurich (upper and lower)	90.1	3900	143
7	L. Lugano (north and south)	48.7	6560	288
8	L. Thun	48.4	6500	217
9	L. Biel	39.8	1240	74
10	L. Zug	38.3	3210	198
11	L. Brienz	29.8	5170	261
12	L. Walen	24.1	2490	150
13	L. Murten	23.0	600	46
14	L. Sempach	14.5	660	87
15	L. Hallwil	10.3	215	47
16	L. Greifen	8.6	161	34
17	L. Sarnen	7.5	244	52
18	L. Ägeri	7.2	357	82
19	L. Baldegger	5.3	178	66
20	L. Sils	4.1	137	71
21	L. Pfäffikon	3.3	58	35

The 21 largest natural lakes in Switzerland

1.8.3. Mapa 5: Estaciones hidrométricas de Suiza.



1.8.4. Mapa 6: Detalle de las estaciones hidrométricas del cantón Tesino.

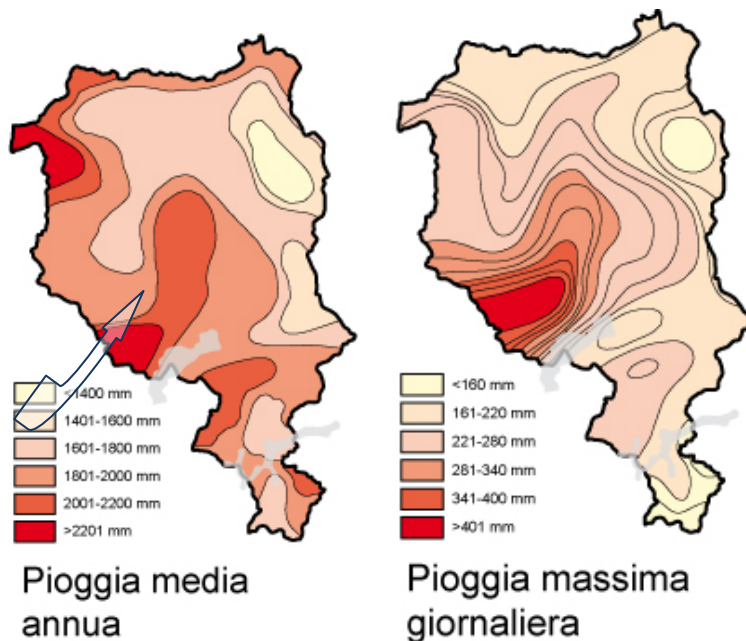


1.9. Meteorología en el cantón Tesino

Desde el punto de vista del clima, el cantón está fuertemente influenciado por la presencia del arco Alpino. Esta barrera contribuye a varios cambios en las corrientes atmosféricas: las corrientes occidentales suelen desviarse hacia el norte, mientras que el aire polar norte o subpolar, que deben pasar los Alpes, se desvían. El acceso las masas de aire procedentes de Oriente y el Sur-Oeste es mucho más directa. Las corrientes del sur traen precipitaciones más o menos abundante, mientras que las de Oriente traen en invierno aire frío continental. La presencia de niebla y neblina se liga a la influencia del Valle del Po.

El clima de la banda a de la zona central y sur del Tesino por lo general se caracteriza por inviernos secos y períodos soleados con viento del oeste desde el norte, a veces, abundantes nevadas, lluvias concentradas en primavera y otoño. El verano que suele ser soleado es interrumpido a menudo por violentas tormentas. En el Tesino las zonas climáticas del norte están principalmente relacionada con los cambios de altitud: clima subnival por encima de 2000 m, en el sur la nieve se da entre 1500 y 2000 m, en el sur pluvio-nival debajo de los 1500 m.

1.10. Mapa 7: Mapas de la precipitación media anual y la precipitación máxima diaria en Cantón del Tesino (Cotti y cols., 1990).



El mapa anterior es muy interesante y muestra porqué no se puede hacer la extrapolación clásica de mayor precipitación a mayor altura. La flecha indica los vientos principales provenientes del mar mediterráneo, y como sabemos, cuanto más al norte del cantón Tesino, más altitud nos encontramos pues nos adentramos en los Alpes. Sin embargo, más al interior aunque tenemos mayor altitud no hay más precipitaciones, de hecho hay menos, ya que éstas han sido captadas por las montañas más al sur, teniendo como resultado zonas de mayor altitud y menor precipitación.

1.11. Red hidrográfica del cantón Ticino

1.11.1. Principales cursos de agua

Las corrientes principales de Cantón del Tesino (Ticino, Maggia y Verzasca) desembocan en el Lago Mayor con una cota de 193 msnm. Los afluentes principales de estos tres ríos fluyen en su totalidad en el cantón Tesino, algunos afluentes del Maggia fluyen el territorio italiano (río

Melezza , torrente Onsernone y Colabiasca), mientras que algunos de los afluentes fluyen en el Ticino fluyen en territorio Griñon (ríos Calancasca y Moesa).

1.11.2. Tabla 11: Algunos datos sobre las cuencas de los ríos más importantes del Cantón del Tesino.

	Superficie [km ²]			Perimetro [km]	Lunghezza asta principale [km]	Pendenza media [%]
	totale	in territorio ticinese	Percentuale			
Ticino	1616	1159	72%	252.5	91.2	2.4
Verzasca	233.4	233.4	100%	76.0	33.0	6.3
Maggia	923	747	81%	165.6	55.8	3.6

Tabella 1 – Alcuni dati sui principali bacini imbriferi del Cantone Ticino.

1.12. Río Rovana

Rovana es un pequeño río de montaña del cantón Ticino, Suiza. El Rovana es afluente del Río Maggia, desembocando cerca de la población de Cervio. El Maggia desemboca en el Lago Maggiore (Lago Mayor) que se extiende de Suiza a Italia. El desagüe principal del lago es el río Ticino, que da nombre al cantón. El río fluye durante 248 Km, la mayor parte en Italia siendo posteriormente el principal afluente del río Po desembocando finalmente en la bahía de Venecia.

2. MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO ROVANA A SU PASO POR CEVIO

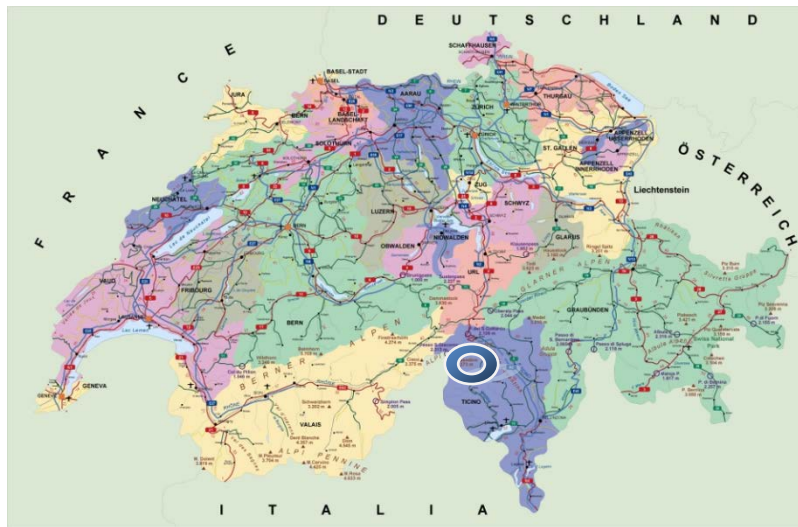
2.1. Introducción

A pesar de que el objetivo principal del presente estudio es la implantación de un nuevo sistema de validación de datos, se va a proceder al estudio hidrológico y posterior modelación con el programa HEC-RAS del Río Rovana en el tramo que fluye en las cercanías de la población Suiza de Cevio, en el cantón Tesino.

Las razones son diversas, primero es el objetivo del instituto de Scienza della Terra ampliar el conocimiento de su red hidrográfica, para la validación de datos es simplemente un pequeño paso que llevará a investigaciones futuras a poseer un trasfondo de datos con los que poder comparar y validar los resultados obtenidos y de este modo saber si el sistema de validación de datos es

correcto, en concreto la validación de los datos de profundidad hídrica. Para el presente estudio es significativo porque acota el rango de valores factibles para la validación de datos de caudal en este punto y da una información muy valiosa sobre los eventos de gran magnitud. El objetivo es conocer los caudales del río para diferentes periodos de retorno, el posible riesgo para la población cercana y saber con qué caudal desbordaría y por lo tanto invalidaría las mediciones aportadas de profundidad.

2.2. Mapa 8: Situación de la cuenca del Rovana en Suiza



2.3. Mapa 9: Vista del cantón Tesino.



Se encuentra marcado en el mapa anterior la zona donde se encuentra la cuenca del Rovana con respecto al cantón del Tesino.

2.4. Mapa 10: Área de la cuenca del río Rovana



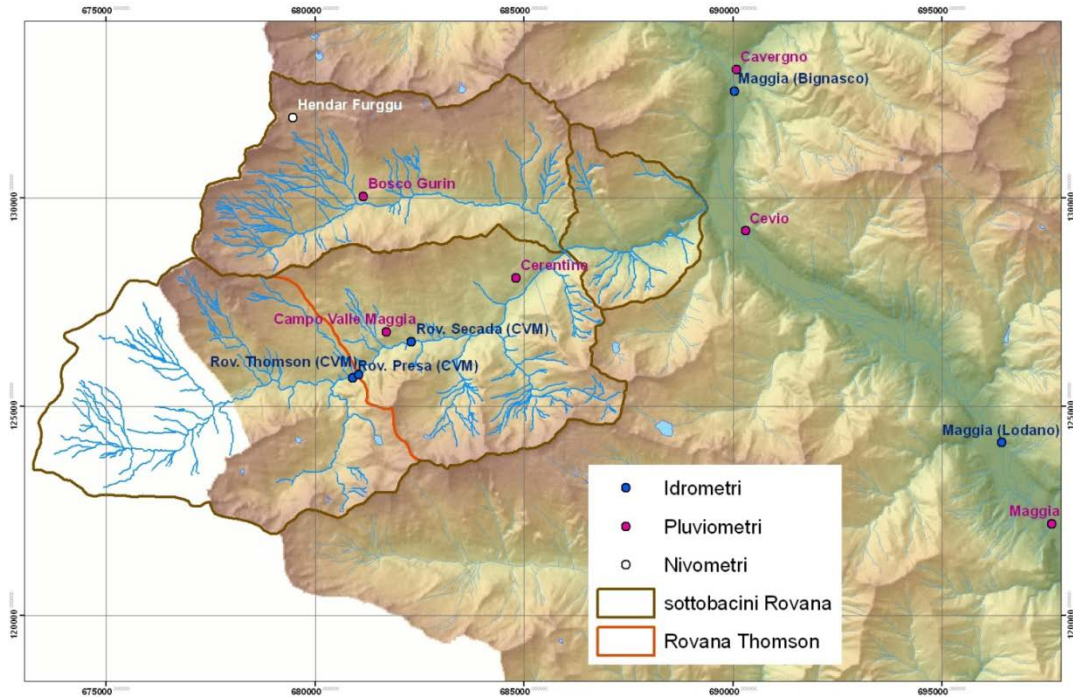
El río Rovana fluya de izquierda a derecha de la imagen, en dirección a la población de Cevio, una vez llega a ésta fluye dirección sur. La zona de la cuenca esta rodeada de cumbres nevadas.

2.5. Mapa 11: Orografía de la cuenca del río Rovana, al fondo se aprecia al arco alpino



Se aprecia mejor en la imagen anterior el área de la cuenca y el macizo de los Alpes al norte. La flecha indica el punto de salida del agua por las montañas.

2.6. Mapa 12: Esquemmatización de las subcuencas y las estaciones de medida.



2.7. Cevio

Cevio es un pequeño pueblo del cantón del Tesino, ubicado en el distrito de Vallemaggia, círculo de Rovana. Limita al norte con la comuna de Bedretto, al este con Lavizzara, al sur con Maggia, Linescio, Cerentino, Campo y Bosco/Gurin, y al oeste con Formazza

2.8. Parámetros morfométricos

La cuenca del Rovana comprende el valle di Campo Vallemaggia y el valle de Bosco Gurin.

Para estimar los parámetros morfométricos se ha hecho referencia a la modelo de elevación digital con una resolución de 25 metros. La superficie del área de la cuenca del Rovana es aproximadamente de 110,3 km².

2.9. Número de curva

Utilizando el método del número de curva desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS-CN).

2.10. Tabla 12.: Datos morfométricos de las subcuencas:

Propiedades de captación	Cuenca completo	Subcuencas			
		Val di Campo	Val di Bosco	Rovana Bassa	Rovana Thomson
Superficie [km ²]	110.3	69.1	31.1	10.1	39.3
Perimetro [km]	50.3	39.5	27.6	14.1	26.7
Altitud maxima [m s.n.m.]	2841	2789.2	2841	2443.1	2789.2
Altitud minima [m s.n.m.]	430	723.5	732.4	433.5	1235.9
Altitud media [m s.n.m.]	1781	1797.9	1709.9	1203.4	1987.4
Pendiente media [%]	65.0%	63.7%	59.0%	86.4%	56.5%
Longitud del cauce principal [m]	22934	18674	8764	4260	12000
Pendiente media del cauce principal [%]	-	5.4%	13.5%	7.0%	4.2%
Ratio de circularidad [-]	0.55	0.56	0.51	0.64	0.69
Coficiente de compacidad [-]	4.24	4.21	4.39	3.93	3.77
Relación de elongación [-]	0.52	0.50	0.72	0.84	0.59
Factor de forma [-]	0.21	0.20	0.40	0.56	0.27
CN(I) [-]	21	21	22	20	20
CN(II) [-]	39	38	41	38	37
CN(III) [-]	59	59	61	59	57

se han utilizado los CN (II) y CN (III) para el cálculo ya que en la zona alpina el suelo siempre se encuentra empapado.

La vegetación de la zona es forestal arbolada y se encuentra en muy buenas condiciones.

Se llega a los siguientes caudales según periodo de retorno:

- $Q_{30} = 376.8 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{100} = 521.5 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{300} = 662.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Como dato se dirá que se han utilizado los CN (II) y CN (III) para el cálculo.

2.11. Toma de datos con estación total

Se han tomado los datos geográficos del perfil de la zona a modelar del río así como del puente.



Toma de mediciones in situ con la estación total

2.11.1. Tabla 13: Datos geográficos obtenidos de la medición de las secciones del río:

Sección 5

Pt	Dist	H
A1	0	431.75
A2	0.66	428.37
A3	6.93	428.04
A4	11.77	427.6
A5	14.03	427.04
A6	15.85	427.14
A7	18.72	426.82
A8	22.21	426.97
A9	24.48	427.25
A10	25.28	429.55

Sección 4

Pt	Dist	H
B11	0	431.21
B10	0.5	429.39
B9	3.7	428.3
B8	8.98	427.1
B7	14.09	426.49
B6	17.03	426.2
B5	21.18	426.2
B4	23.64	426.17
B3	28.06	426.64
B2	34.33	427.47
B1	35.36	430.98

Sección 3

Pt	Dist	H
D1	0	430.86
D2	5.57	429.62
D13	6	426.24
D12	9.25	424.26
D11	11.42	423.93
D10	13.5	424.26
D9	16.21	424.34
D8	18.93	425.04
D7	22.21	424.67
D6	26.27	424.16
D5	29.8	423.51
D4	32.3	426.43
D3	33.09	427.8

Sección 1

Pt	Dist	H
C1	0	428.57
C2	0.51	425.54
C3	4.48	423.49
C4	8.21	422.44
C5	13.03	421.43
C6	16.76	421.79
C7	20.5	422.31
C8	24.22	424.69
C9	32.14	425.53
C10	46.93	426.6
C11	47.39	428.48
C12	51.85	428.53
C13	52.62	431.08

A partir de estas secciones se han calculado las secciones a aproximadamente 1 metro aguas arriba y aguas abajo del puente, que son las siguientes:

2.11.2. Tabla 14: Secciones cercanas al puente

Sección 1.5			Sección 2.5		
Pt	Dist	H	Pt	Dist	H
C1	0	428.57	D1	0	430.56
C2	0.51	425.54	D2	4.74	429.32
C3	4.48	423.49	D13	4.87	425.94
C4	8.21	422.44	D12	7.37	423.96
C5	13.03	421.43	D11	8.29	423.63
C6	16.76	421.79	D10	9.37	423.96
C7	20.5	422.31	D9	12.08	424.04
C8	24.22	424.69	D8	14.8	424.74
C9	32.14	425.53	D7	18.08	424.37
C10	46.93	426.6	D6	22.14	423.5
C11	47.39	428.48	D5	23.87	423.21
C12	51.85	428.53	D4	25.17	426.13
C13	52.62	431.08	D3	25.37	427.5

Con la totalidad de los puntos tomados se puede observar verticalmente la forma del río (incluyendo el puente y los puntos tomados como referencia):

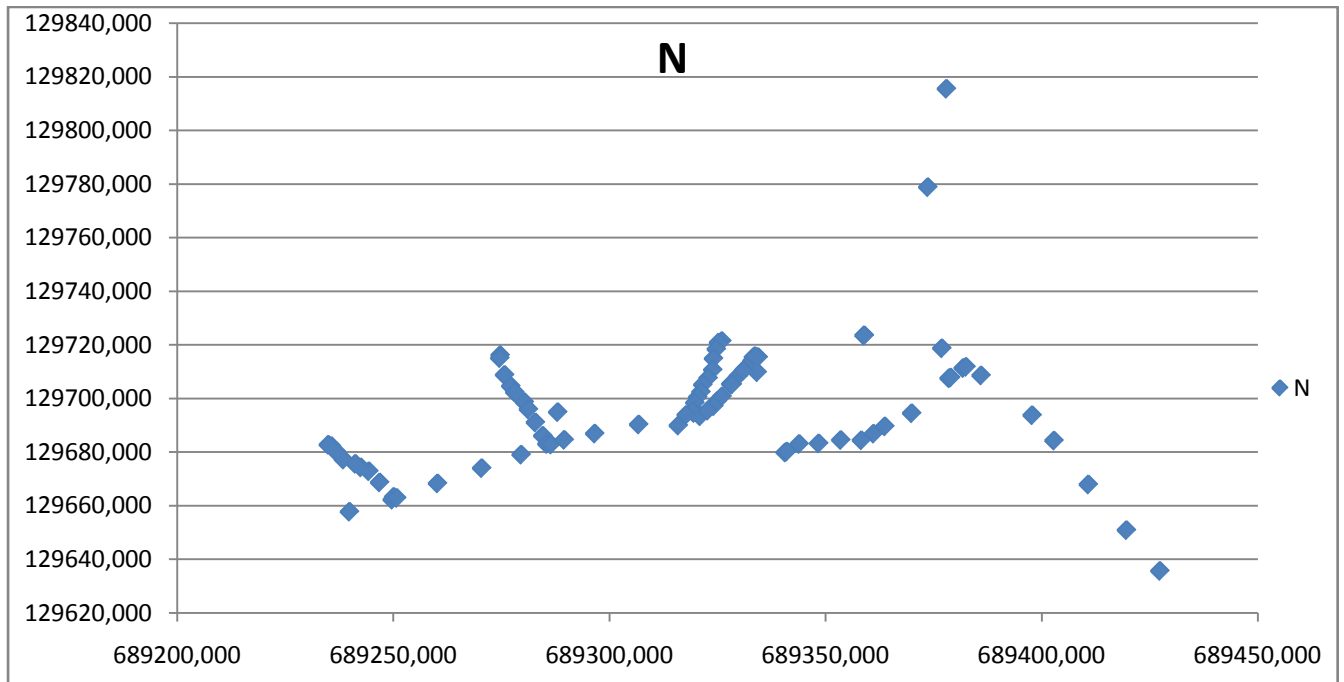
Esta medición se ha llevado a cabo tomando como referencia un punto preestablecido de la red topográfica nacional y triangulando a partir de él. A continuación se presentan los datos obtenidos:

2.11.3. Tabla 15: Datos topográficos completos del cauce y el puente

E	N	E	N	E	N	E	N
689377.990	129815.501	689288.039	129694.866	689321.035	129693.421	689319.360	129695.082
689358.975	129723.496	689340.691	129679.837	689333.316	129715.320	689322.753	129695.411
689373.688	129778.802	689341.076	129680.166	689328.081	129705.353	689317.775	129693.832
689334.396	129715.341	689343.909	129682.999	689320.978	129693.412	689306.778	129690.256
689358.959	129723.491	689348.434	129683.217	689328.422	129705.285	689296.600	129686.868
689249.733	129662.204	689353.547	129684.460	689331.325	129710.895	689289.550	129684.534
689250.076	129663.261	689358.314	129684.371	689334.208	129709.771	689279.574	129679.006
689246.819	129668.652	689361.133	129686.839	689333.072	129713.953	689270.438	129673.971
689244.332	129672.820	689363.744	129689.552	689333.049	129713.996	689260.216	129668.278
689242.481	129674.268	689369.956	129694.462	689331.033	129710.340	689250.781	129662.862
689241.200	129675.595	689378.606	129707.512	689328.357	129705.174	689239.845	129657.719
689238.476	129677.168	689378.983	129707.769	689326.076	129700.729		
689236.748	129680.224	689381.875	129711.330	689324.165	129697.082		
689235.650	129682.227	689382.529	129711.757	689333.696	129715.758		
689234.946	129682.709	689376.936	129718.694	689315.951	129689.871		
689274.713	129716.133	689386.015	129708.564	689319.574	129694.560		
689274.639	129715.020	689397.833	129693.720	689326.022	129721.388		
689275.743	129708.764	689402.890	129684.256	689325.255	129720.809		
689277.181	129704.580	689410.838	129667.879	689324.737	129718.344		
689278.092	129702.293	689419.654	129650.855	689324.097	129714.847		
689280.293	129698.669	689427.394	129635.639	689323.922	129710.638		
689281.265	129695.894	689334.390	129715.338	689322.842	129707.538		
689282.874	129691.044	689333.616	129715.493	689321.628	129705.072		
689284.584	129686.052	689329.853	129708.356	689321.190	129702.371		
689285.531	129682.991	689328.283	129705.352	689320.434	129700.430		
689286.473	129682.790	689324.930	129698.917	689319.782	129698.356		

Si se ordenan los puntos en un gráfico se puede observar el río, visto desde arriba, con el margen derecho abajo, y las 5 secciones transversales realizadas en el cauce:

2.11.4. Gráfico 5: Perfil de río Rovana



Vista aguas arriba del puente



Vista aguas abajo del puente

2.11.5. Tabla 16: Datos topográficos del puente:

X	Y	X	Y
1374.24	42985.98	1701.51	42825.78
1613.28	42880.84	999.27	43046.53
1818.92	42734.74	1910.52	42645.13
55.30	42637.23	1910.52	42438.96
238.70	42801.76	2383.74	42438.96
1515.72	42930.71	986.90	43213.35
1140.38	43037.45	-185.99	43153.57
143.16	42724.07	0.01	42438.96
328.69	42861.92	0.01	42573.10
546.36	42967.34	-185.99	42438.96
777.18	43029.18	2383.74	43154.56
1286.45	43010.78		

Datos geográficos obtenidos de la medición de las secciones del puente.

2.11.6. Gráfico 6: Perfil del puente

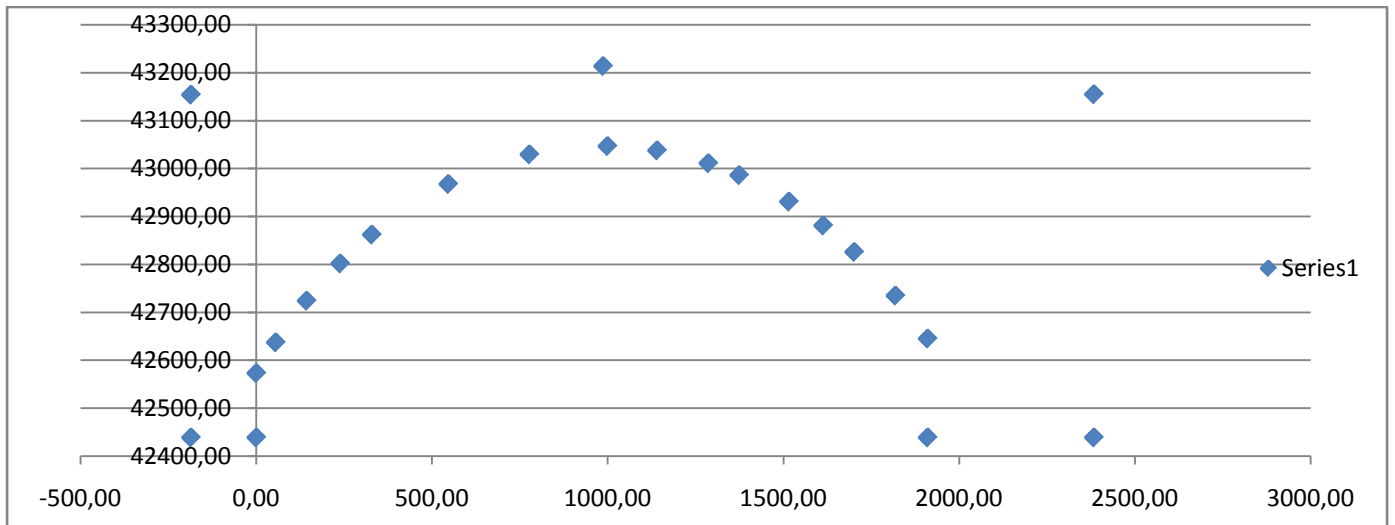
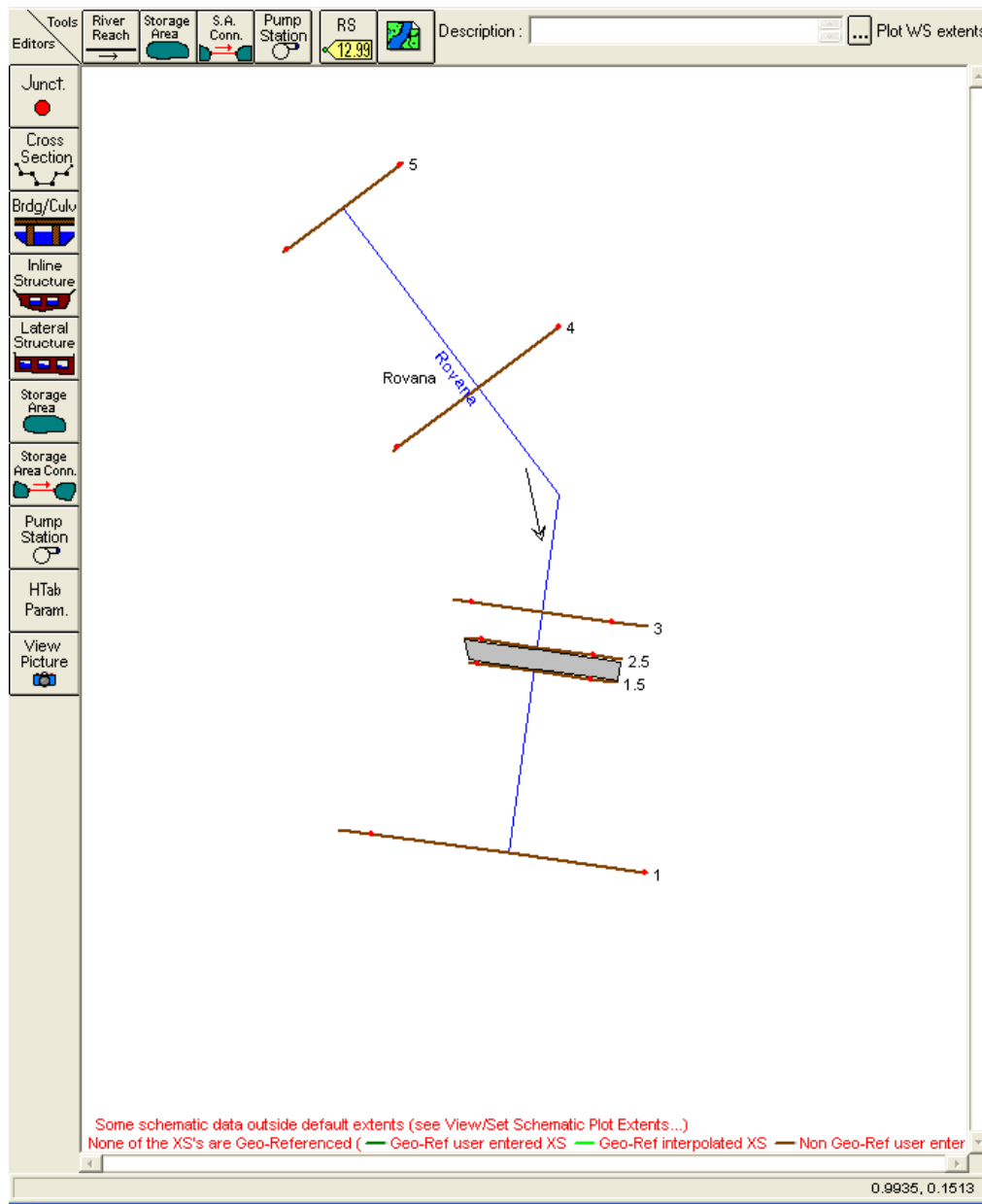


Imagen del puente sobre el río Rovana en Cevio.

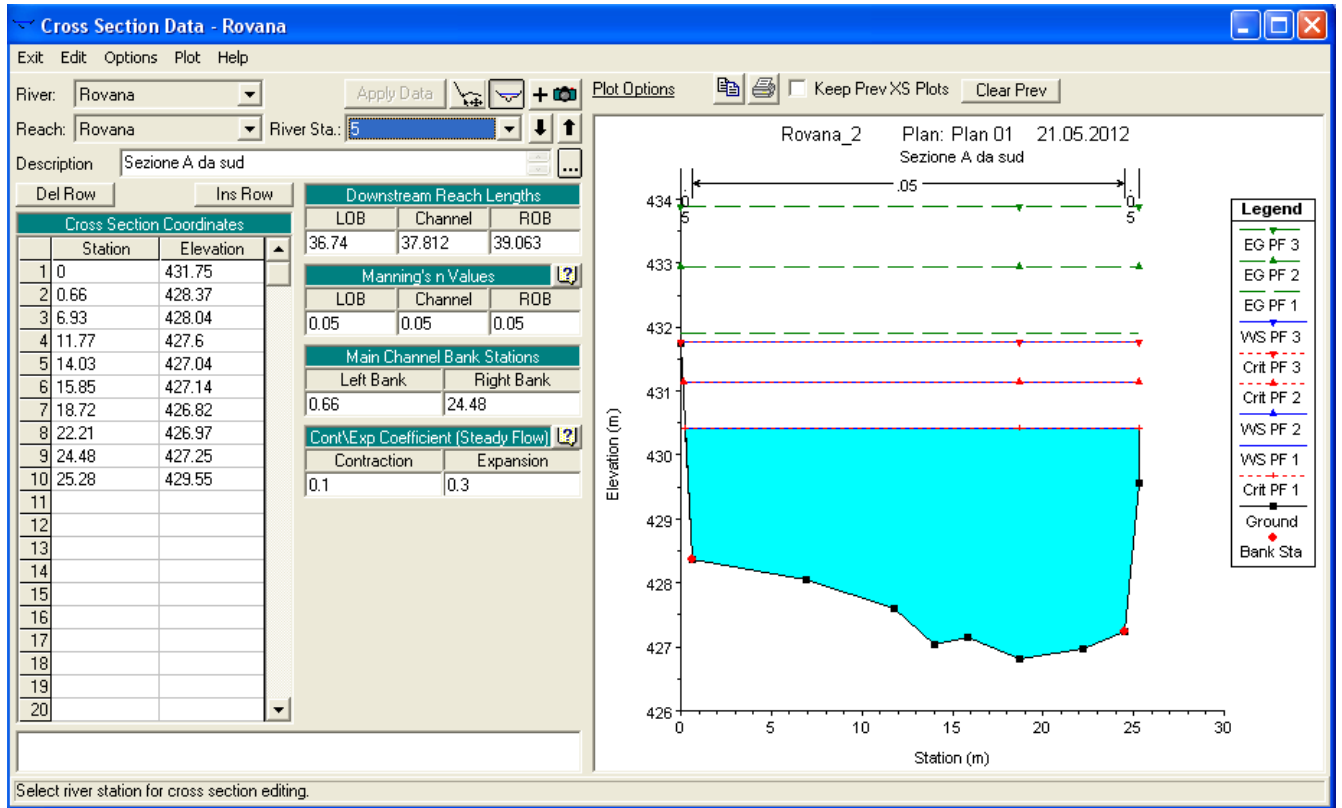
2.11.7. Modelación con HEC-RAS

Vista general de la situación de las secciones y del puente, se observa que se han realizado 2 secciones a 0,5 metros del puente para captar correctamente la influencia del puente en el flujo.

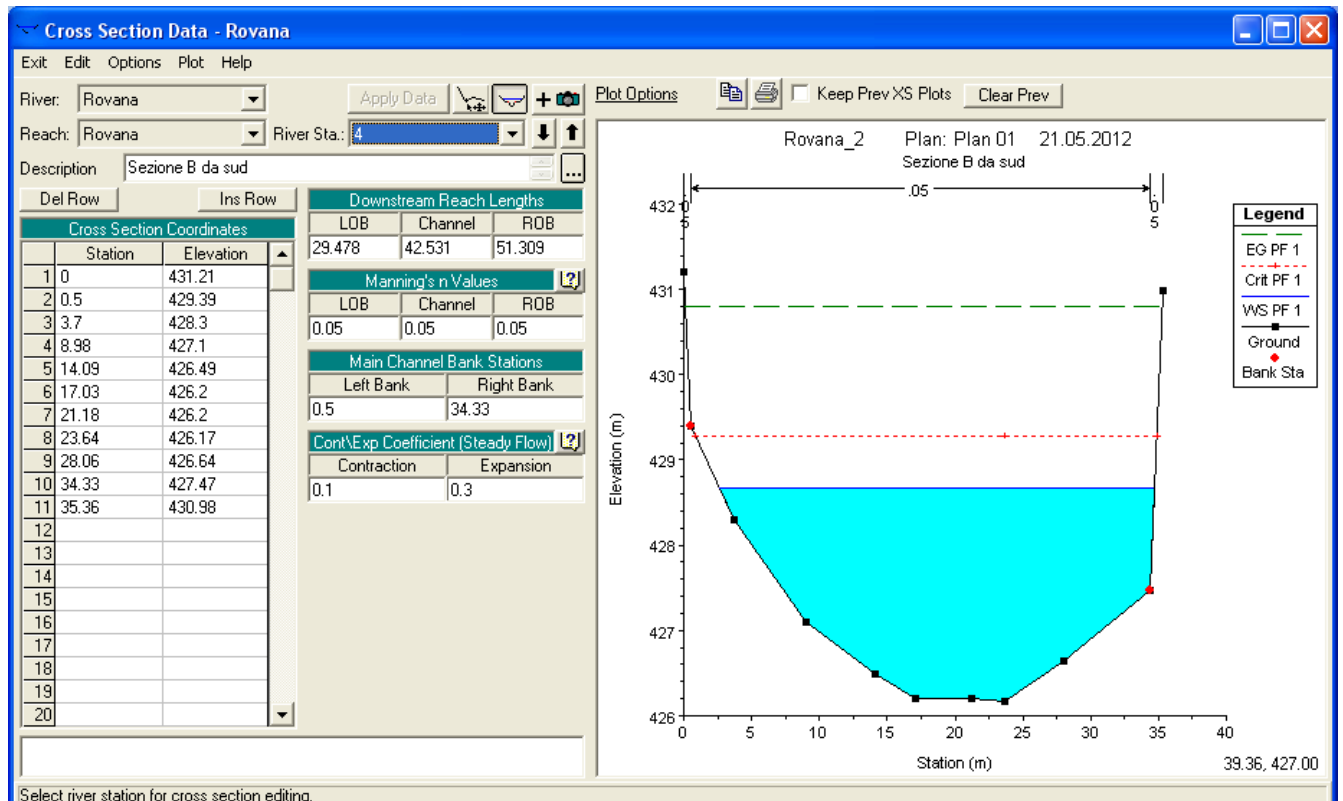
El perfil 1 es más ancho ya que en esa zona el río se expande considerablemente, lo que significa que las zonas conflictivas se encontrarán antes de ese punto, a partir de él el cauce es muy ancho.



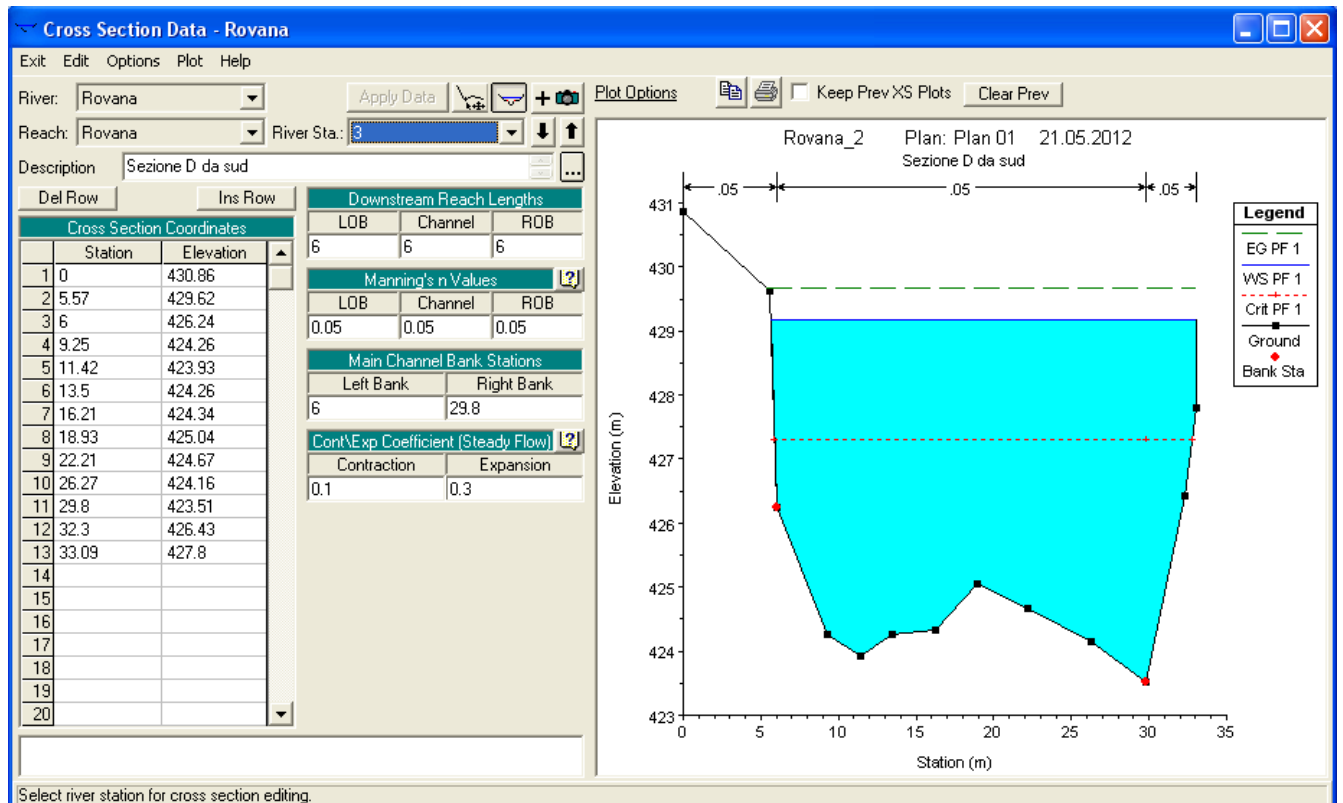
2.11.8. Sección modelada para un caudal de 377 m³/s



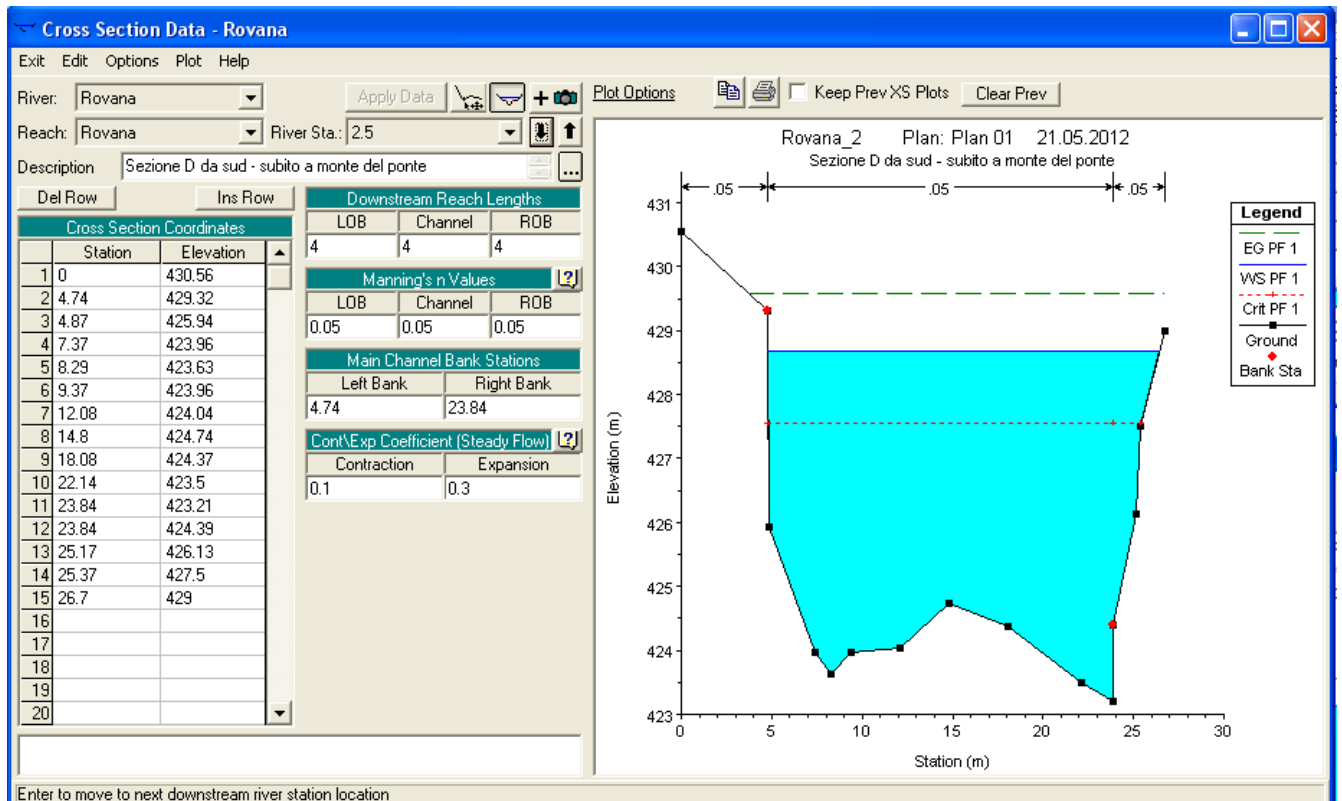
Ésta es la sección 5, la más aguas arriba del tramo. Las medidas del interior del cauce se realizaron in situ, trianguladas desde la estación total situada en el puente hasta una vara métrica coronada de in reflectante para reflejar la señal de la estación.



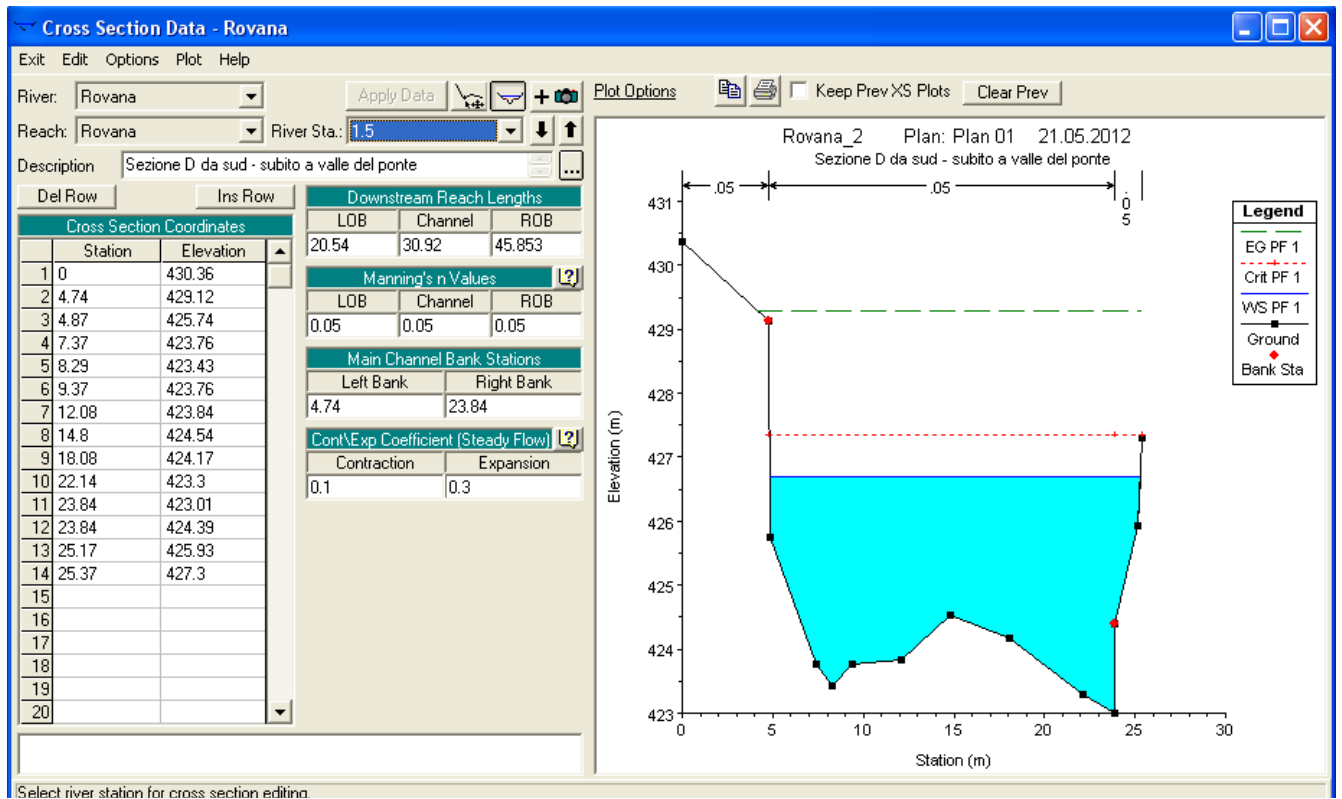
Sección 4 del tramo. Se observa bastante concavidad y buenos cajeros de protección.



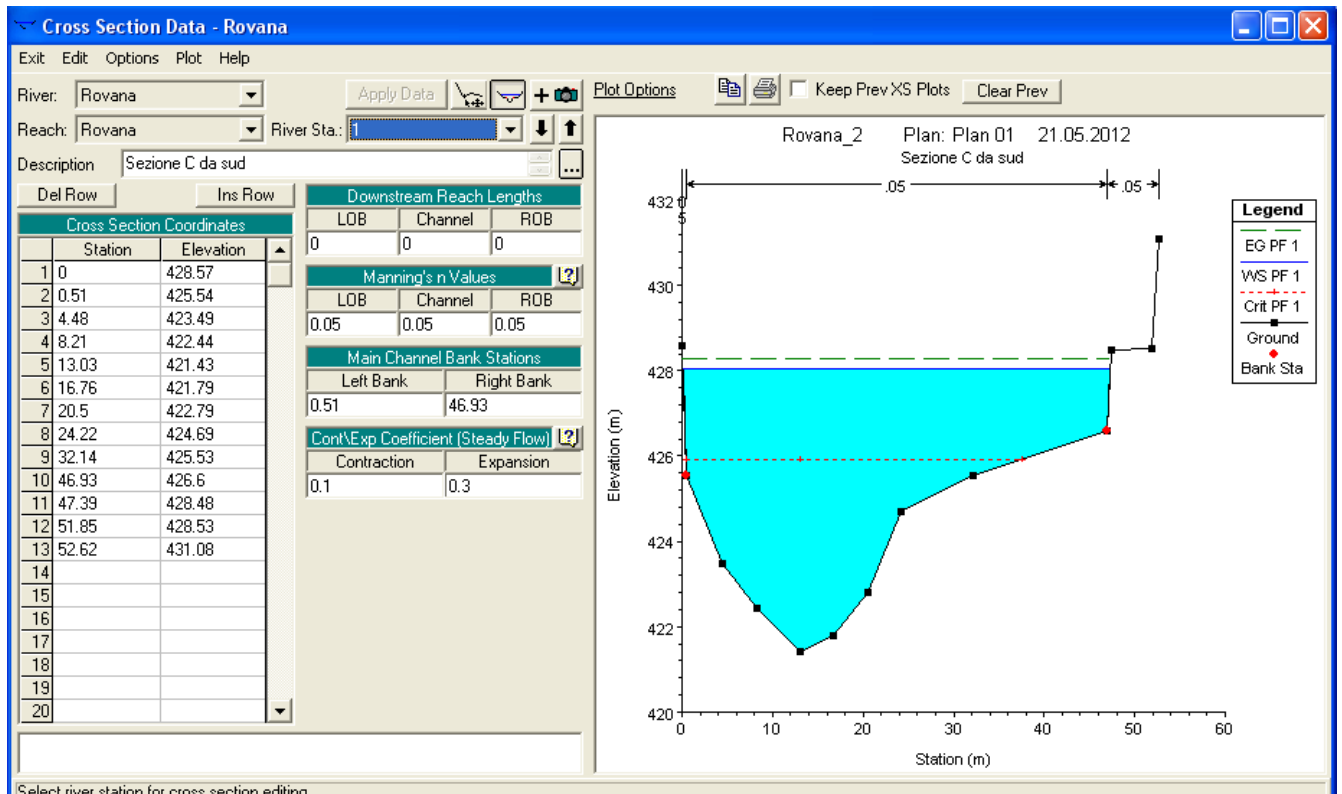
Sección 3 del tramo, muy rocosa con fondo poco uniforme.



Sección 2.5, previa al puente, mantiene la poca uniformidad de la sección anterior.

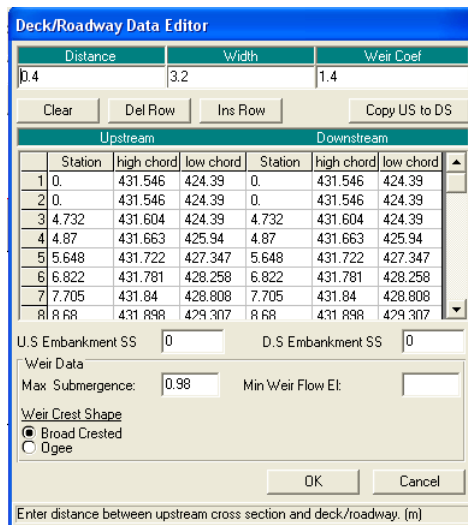


Sección 1.5, posterior al puente, a partir de éste punto el cauce comienza a ensanchar.

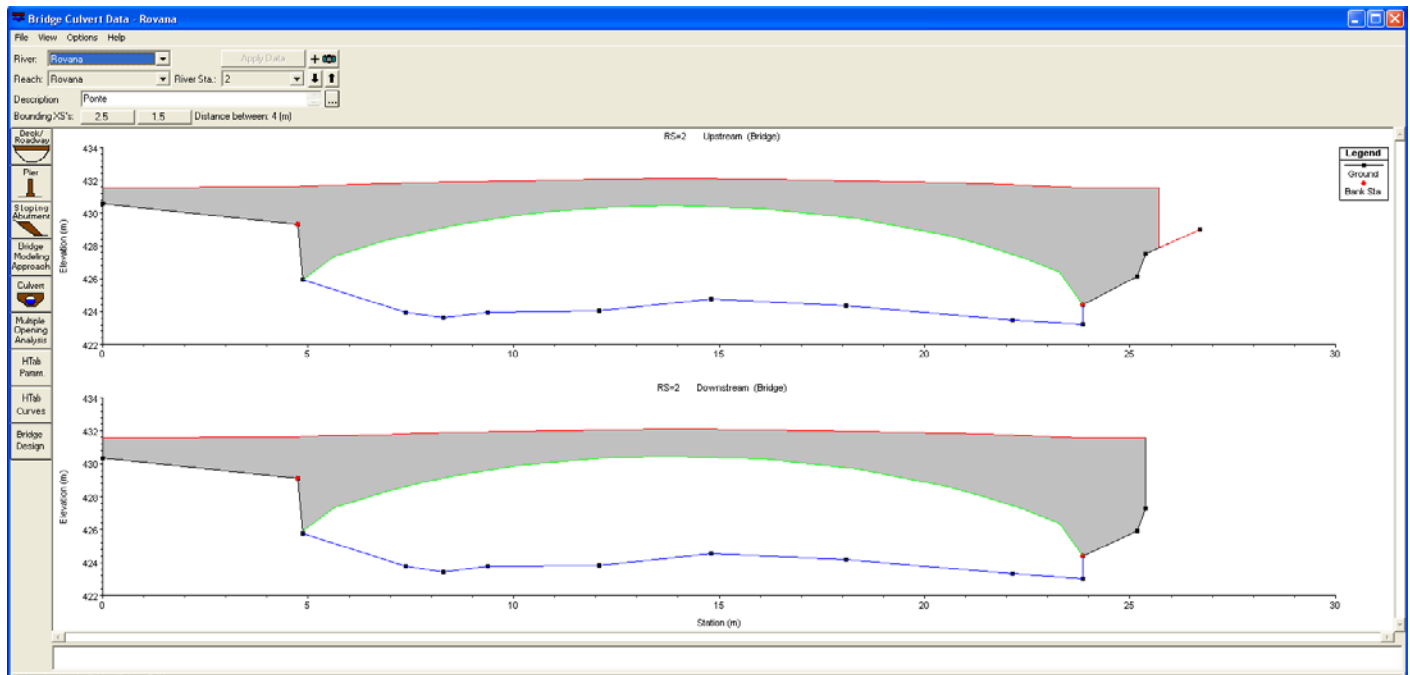


Sección 1 es la más ancha, se observa los cajeros de protección.

2.11.9. Modelación del puente

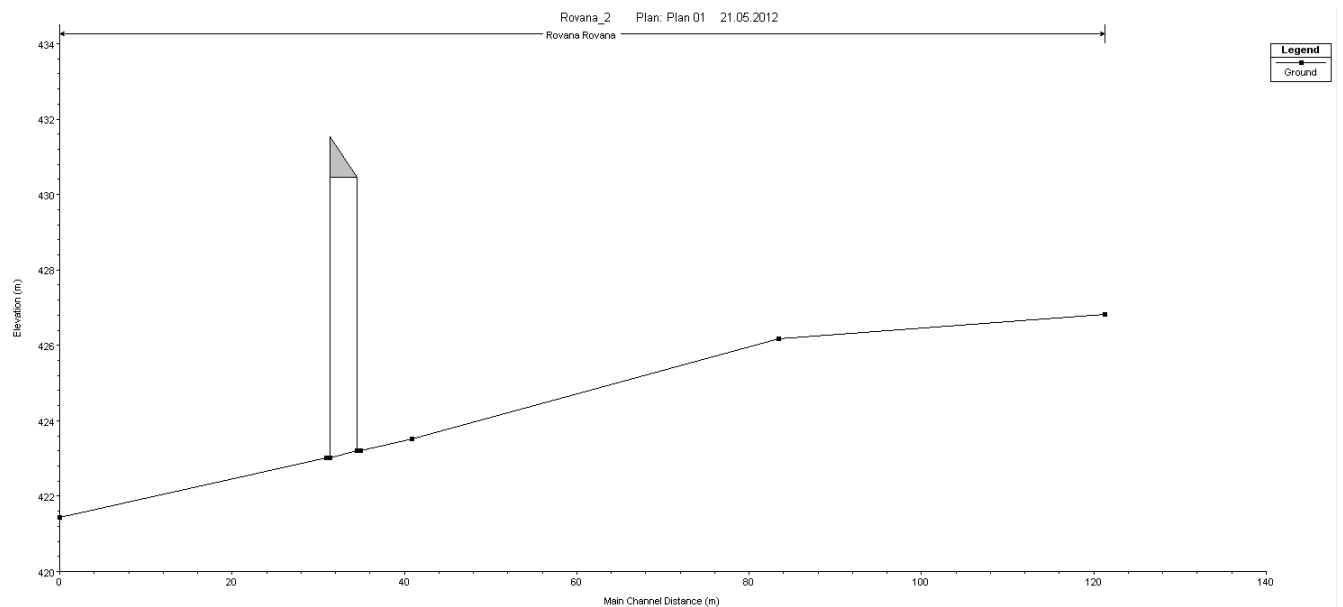


Datos geográficos del puente una vez insertados en HEC-RAS

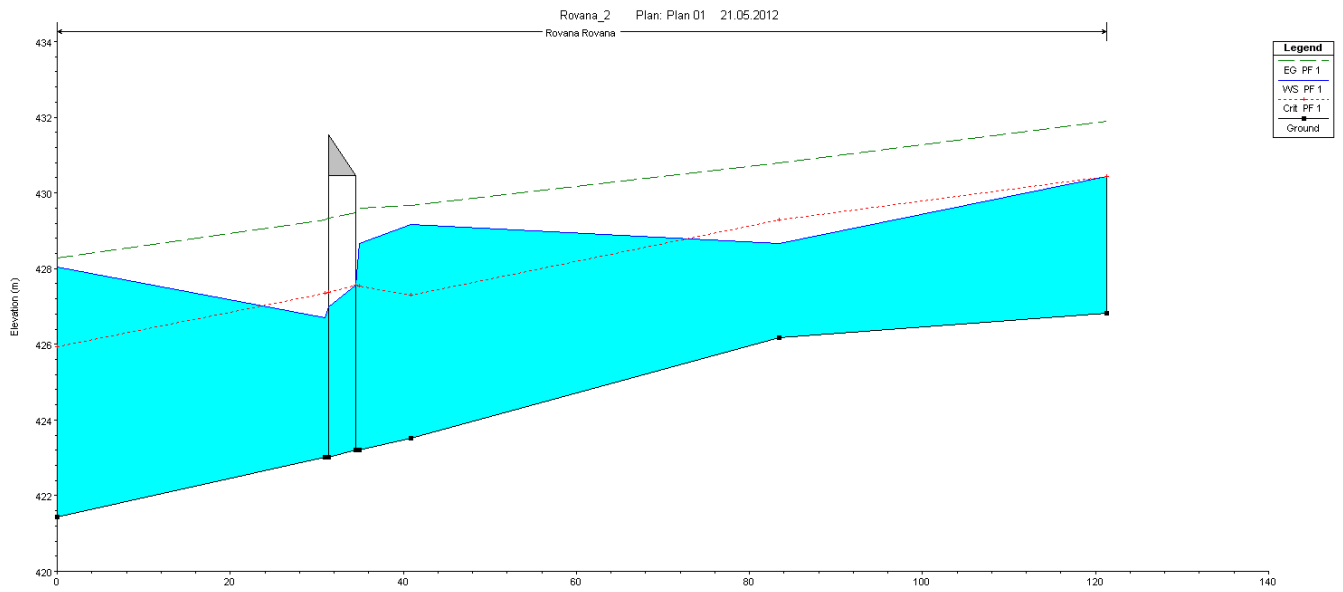


Perfil del puente aguas arriba y aguas abajo.

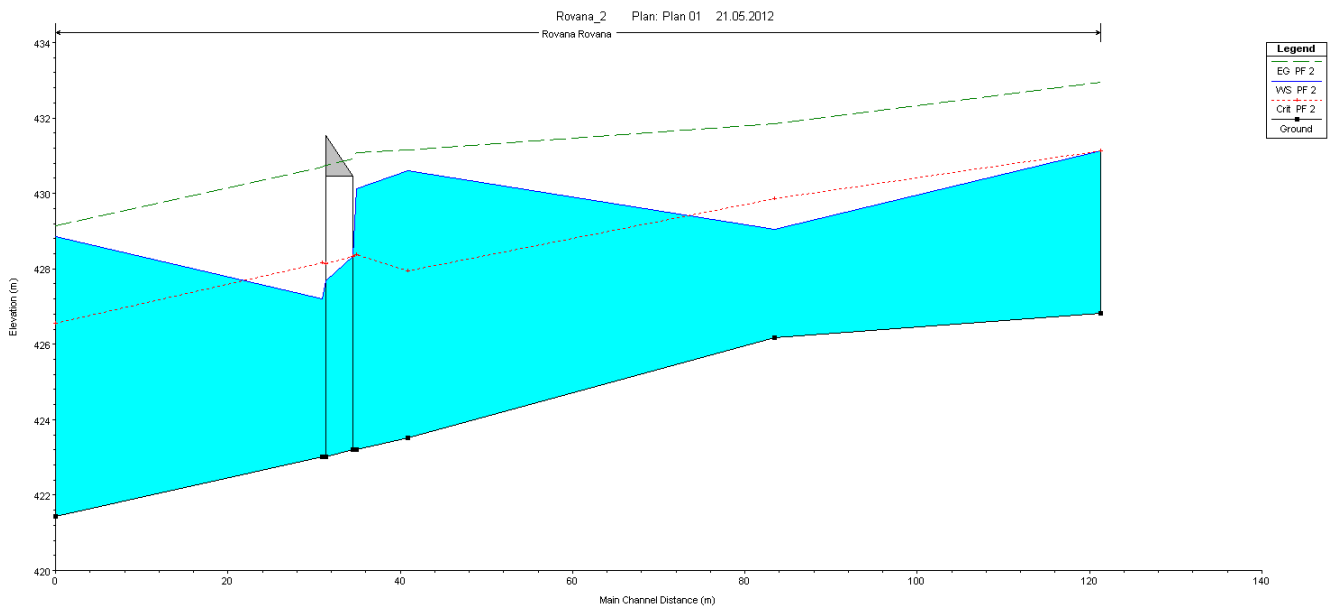
2.11.10. Perfil del río a diferentes caudales



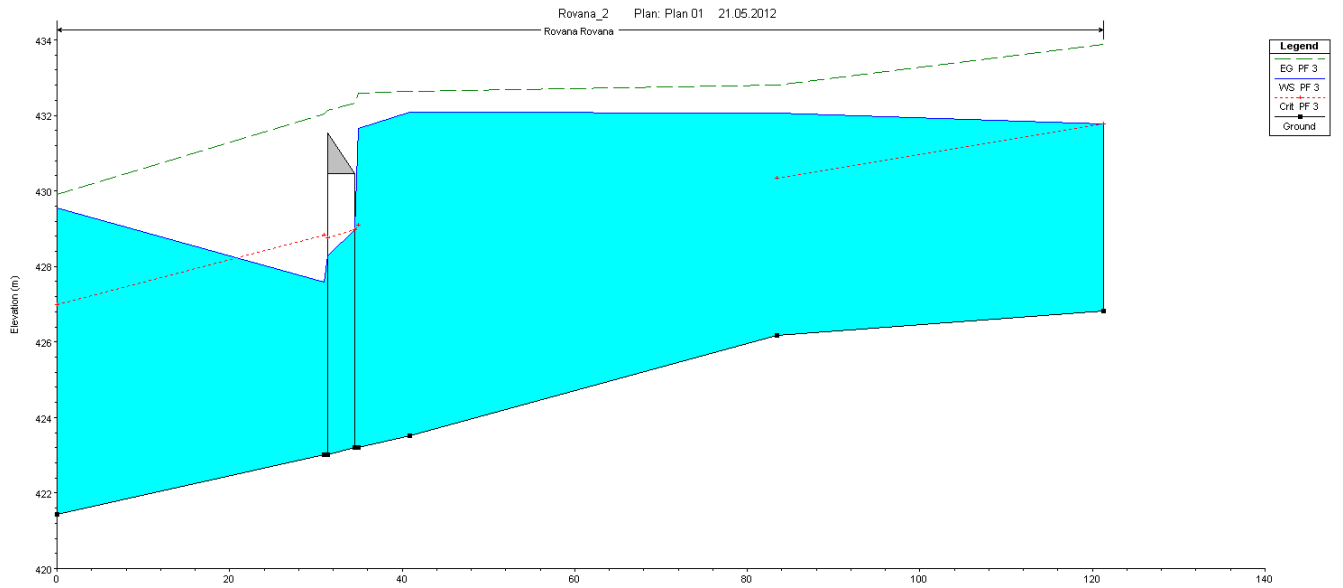
Perfil del río sin caudal, se observa la pendiente que es creciente según llegamos al puente y el espesor del mismo.



Perfil para un periodo de retorno de 30 años ($Q=377 \text{ m}^3/\text{s}$)

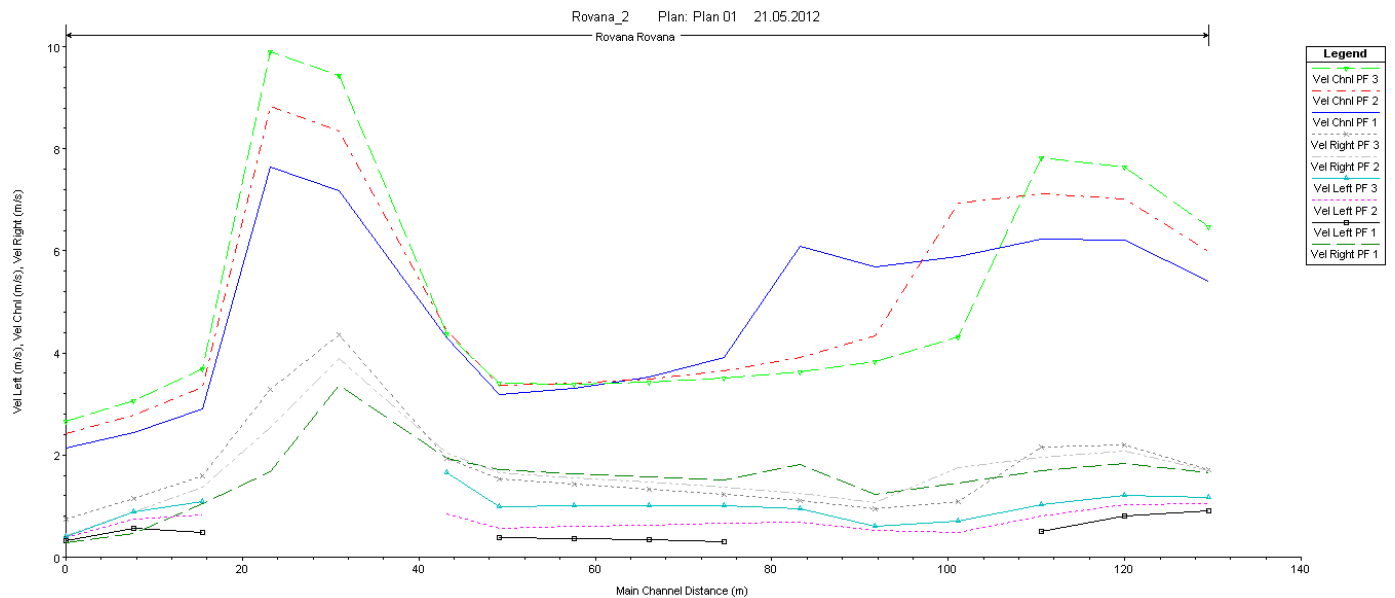


Perfil para un periodo de retorno de 100 años ($Q=521.5 \text{ m}^3/\text{s}$). La salida del flujo después de pasar el puente es bastante fuerte, pero se da la circunstancia del ensanchamiento del cauce a partir de este punto, lo que evita en gran medida desbordamientos.



Perfil para un periodo de retorno de 300 años ($Q=662 \text{ m}^3/\text{s}$).

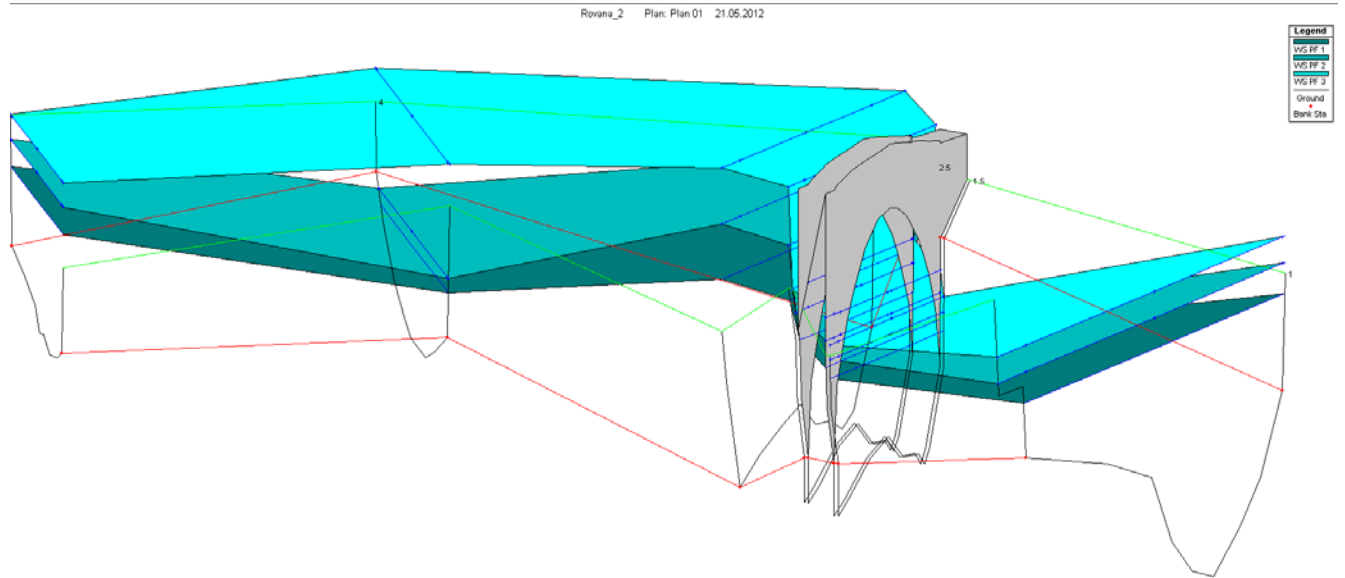
1.1. Velocidad del agua para los 3 periodos de retorno



El máximo de velocidad observada es de 10m/s a la altura del puente para el periodo de retorno de 300 años.

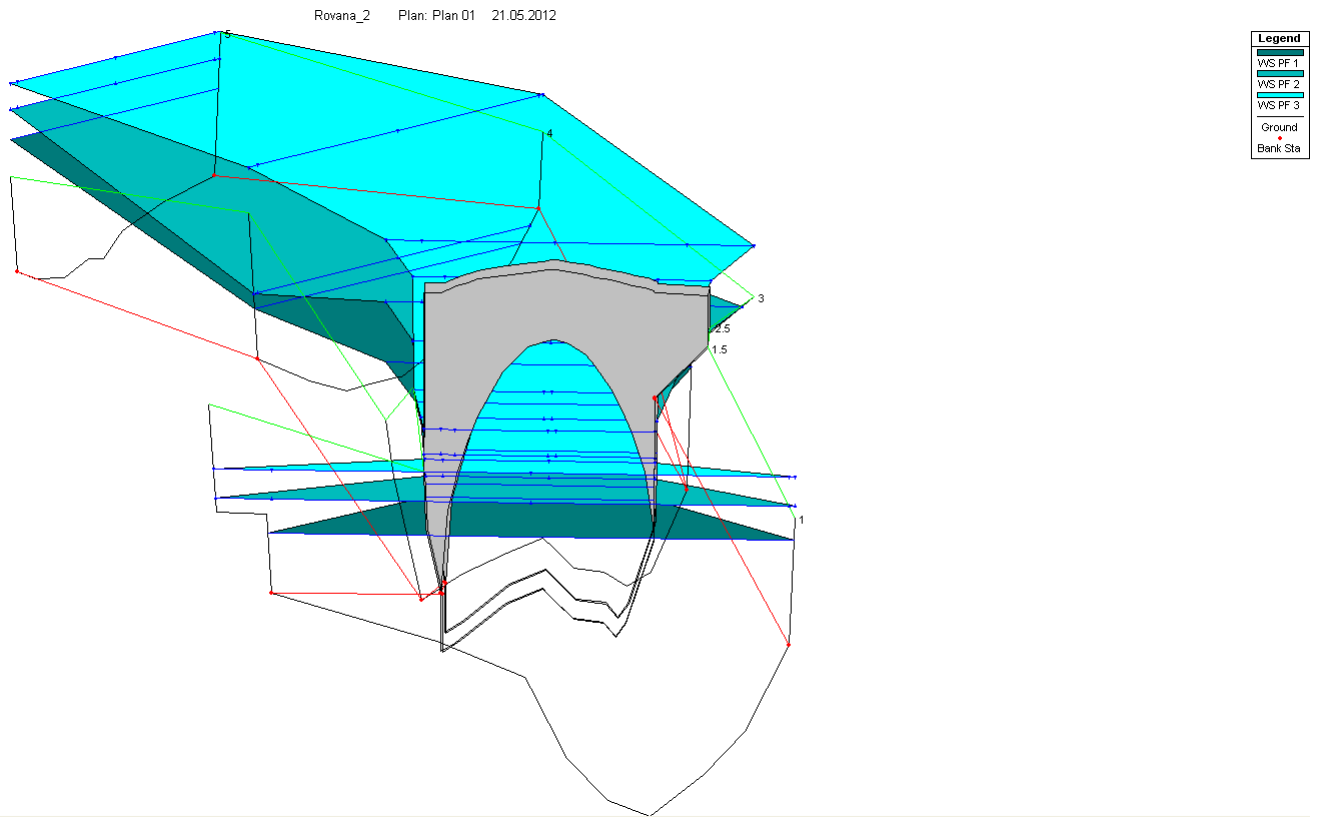
2.11.11. Modelo tridimensional del río para los 3 periodos de retorno (30, 100 y 300 años)

2.11.12. Vista del perfil 1



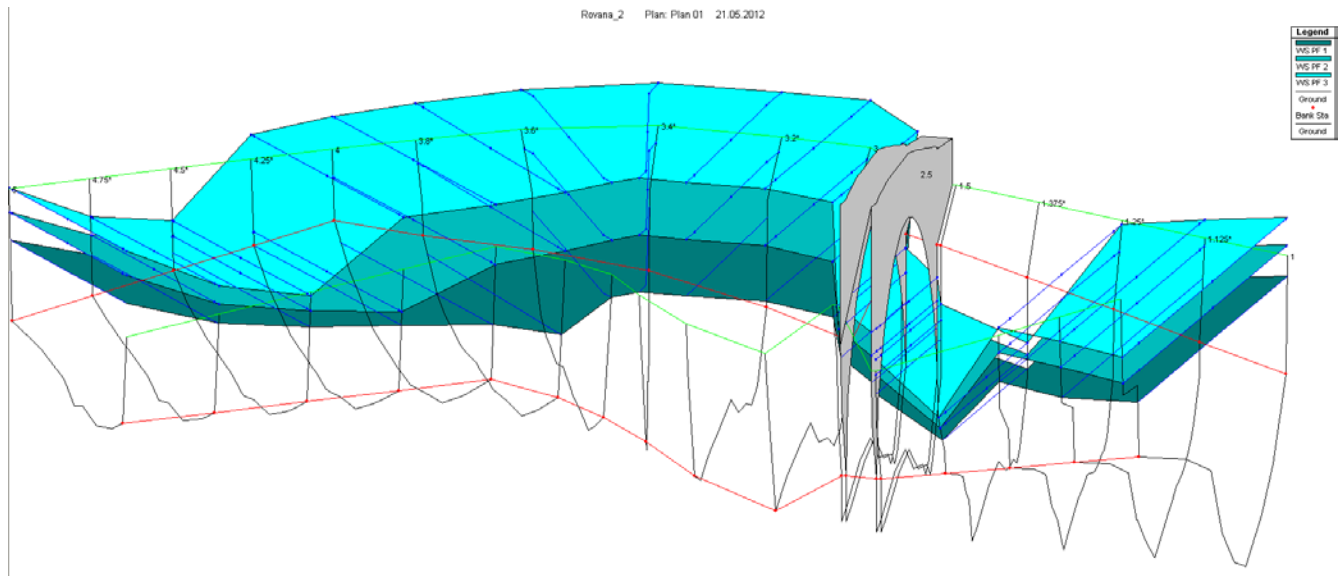
Aguar arriba a la izquierda de la imagen. Se ve claramente en la imagen superior cómo el río se desberda para un periodo de retorno de 300 años.

2.11.13. Vista del perfil 2



Vista desde aguas abajo.

2.11.14. Vista del perfil 3



El modelo tridimensional con secciones interpoladas cada 10 metros. Se observa la rocosidad del lecho en las cercanías del puente.

1.1.1. Resguardo de la lámina de agua

Teniendo en cuenta los niveles de agua del río y el resguardo de los cajeros, se ha calculado si el río se desborda para los periodos de retorno escogidos y por cuanto el resguardo es superado.

Marcado en rojo se ve el nivel de desborde del río para cada tramo y para cada caudal.

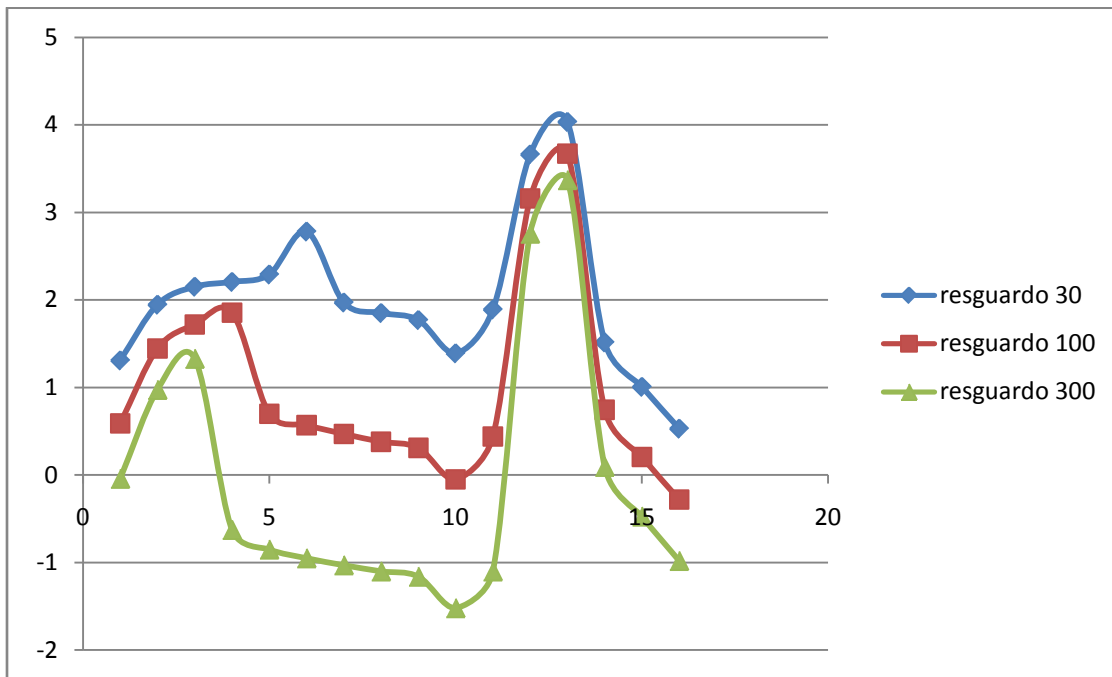
1.1.2. Tabla 17: Perfil de río extrapolado cada 5 metros.

Distancia	Altura lamina agua			Resguardo			
	Altura muro	r30	r100	r300	r30	r100	r300
5	431.729	430.42	431.14	431.77	1.309	0.589	-0.04
4.75	431.615	429.67	430.17	430.64	1.945	1.445	0.975
4.5	431.48	429.33	429.76	430.15	2.15	1.72	1.33
4.25	431.345	429.14	429.49	431.97	2.205	1.855	-0.62
4	431.21	428.92	430.51	432.06	2.29	0.7	-0.85
3.8	431.14	428.36	430.57	432.09	2.78	0.57	-0.95
3.6	431.07	429.1	430.6	432.1	1.97	0.47	-1.03
3.4	431	429.15	430.62	432.1	1.85	0.38	-1.1
3.2	430.93	429.16	430.62	432.09	1.77	0.31	-1.16
3	430.56	429.17	430.61	432.08	1.39	-0.05	-1.52
2.5	430.56	428.6	430.1	431.6	1.89	0.44	-1.1
1.5	430.36	426.7	427.2	427.6	3.66	3.16	2.76
1.375	429.912	425.88	426.24	426.54	4.032	3.672	3.372
1.25	429.465	427.95	428.72	429.37	1.515	0.745	0.095
1.125	429.017	428.01	428.81	429.49	1.007	0.207	-0.47
1	428.57	428.04	428.85	429.55	0.53	-0.28	-0.98

Nótese que r30, r100 y r 300 son los diferentes periodos de retorno.

El siguiente gráfico expresa la altura de resguardo para cada uno de los 3 periodos de retorno, para todo resultado negativo, el río desborda.

1.1.3. Gráfico7: Altura de resguardos



1.1.4. Resultados

Como se observa, para un periodo de retorno de 30 años no existe riesgo, para 100 años solo hay un punto en el que el agua supera el resguardo unos 28 cm. Para 300 años al agua supera claramente el resguardo llegando a ser incluso 1,5 metros superior.

1.1.5. Conclusiones y motivación del la modelación hidrológica

Centrado como está este trabajo en la validación de los datos que se obtienen de medir los diferentes fenómenos hidrológicos, se ha realizado la modelación hidrológica de un fragmento del río Rovana, en concreto el fragmento más conflictivo por poseer un puente. Se realiza éste estudio para dotarnos de una herramienta de la cual servimos para validar los datos de caudales obtenidos.

Si tenemos una estación de medición continua de la altura el agua (y por tanto el caudal) en un punto del cauce, en este caso está planeado instalarla en las cercanías del puente por temas de accesibilidad, es de vital importancia para la validación de datos el conocer si para un evento determinado el río se va a desbordar falseando por tanto los resultados.

Con los datos obtenidos sabemos que todo evento que supere el periodo de retorno de 100 años (521,5 m³/s) dará datos erróneos, ya que no toda el agua va a pasar por el cauce, ya que este se encuentra desbordado.

De modo que si se llegase a instalar una estación de aforo, por ejemplo un radar, sin tener en cuenta el estudio previo, a lo largo de los años se observaría que dicho curso de agua nunca sobrepasa un determinado caudal. Ahora sabemos que estos datos “máximos” no tienen por qué ser ciertos y serán marcados como dudosos en el proceso de validación de datos.

Es decir, se ha dado un paso adelante en el conocimiento de dicho sistema y se ha ajustado mejor la forma de validar y comprobar los datos que de él obtenemos y se ha demostrado que dicha metodología debe ser aplicada a otros cursos de agua que presenten características que hagan prever desbordes o alguna otra fuente de pérdidas de flujo.

2. SISTEMA DE VALIDACIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS PROPUESTO

El sistema propuesto aportado por el presente trabajo se basa en un diagrama de flujo por donde discurren los datos a través de unos determinados filtros de calidad. El sistema pasa de ser lineal, donde los datos van siempre del filtro 1 al siguiente a convertirse en una red por donde circulan los datos hasta que completan el proceso de validación. De modo que no todos los datos van a someterse a las mismas pruebas por añadidura, con la nueva nomenclatura, al final de la validación se tendrá información de cómo han sido tratados los datos y su fiabilidad.

2.1. Problemática con la validación de datos hidrológicos de caudales

Se ha encontrado que la validación espacial en cursos de agua no es aplicable, incluso para 2 pequeñas cuencas con pendiente, vegetación precipitaciones, etc. Similares ya que en el caso de Suiza la gran mayoría de los cursos de agua están controlados y prácticamente no existen 2

cursos de agua sin gestiones y de características similares, por lo que sus caudales no dependen de su dinámica natural, si no de su gestión. El control de dichos flujos y la validación posterior tiene sentido como control de pérdidas etc. Ya que se conocen los caudales soltados en las pesas y estaciones de turbinaje.

2.2. La entrada de datos

Cuando los datos llegan, si el formato es correcto (puede ser leído en la base de datos) comienza el proceso de validación, si no, el sistema debe enviar un correo electrónico al técnico de forma automática con la notificación del error. Cuando el problema se soluciona, el dato comienza de nuevo su validación.

2.3. El proceso de validación

2.3.1. TEST DE CONSISTENCIA INTERNA

La prueba de consistencia interna busca una lógica mínima que permita que los datos sean correctos. Esta comprobación busca valores físicamente imposibles o datos sin ningún sentido. Esto se puede dar de diferentes maneras.

Para el inicio del programa de validación y sabiendo que es el objetivo sólo validar los datos de lluvia y de altura de los cursos de agua, se ponen en práctica estas dos reglas:

El sistema debe encontrar los datos faltantes, lagunas en la serie de datos, dichos datos serán marcados para ser enviados a la red neuronal artificial para su estimación en el caso de caudales, en el caso de precipitaciones, ya que se ha demostrado una gran fiabilidad de la validación espacial, se pueden completar dichas lagunas mediante ese sistema.

Detección de valores imposibles: lluvia o profundidad de agua negativas son automáticamente marcadas como incorrectos.

- Valores posibles: marcar con 100
- Valores imposibles: marcar con 120
- Datos faltantes: marcar con 130

2.3.2. PRUEVA DE CONSISTENCIA TEMPORAL Y VARIABILIDAD DE MEDIDAS

El propósito de la prueba de consistencia temporal es el de verificar la velocidad de cambio de los datos, detectar saltos poco realistas en los valores y asegurarnos de que la serie temporal siempre es creciente.

Comprobación de la máxima variabilidad permitida para un valor instantáneo: si el valor actual difiere del anterior más que un determinado límite, entonces dicho valor falla la validación y es marcado como erróneo.

En el caso de la precipitación se establece un umbral máximo de precipitación de 40mm en 10 minutos (10 minutos es el tiempo de recepción de la señal).(Pozzoni 2011)

Para la variación de la altura del nivel hídrico habría que realizar un estudio para cada estación en particular, en aquellos cursos de agua gestionados de deben conocer los aumentos producidos por las sueltas de agua.

- Valor correcto: marcar con 200
- Valor incorrecto: marcar con 210

Los valores marcados como incorrectos en esta fase son enviados automáticamente a la validación manual, porque a pesar de ser altamente improbables bien pueden ser parte de un evento extraordinario.

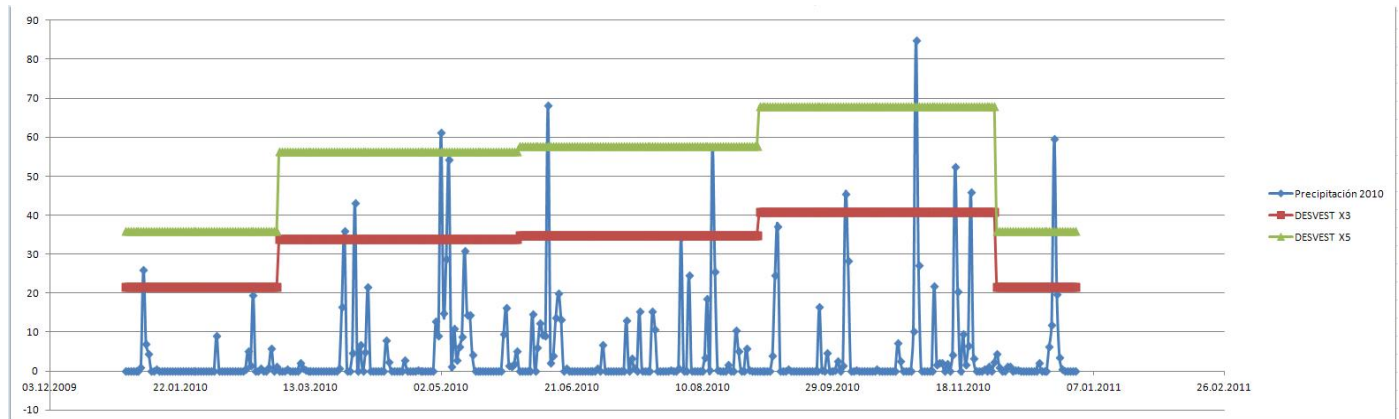
2.3.3. RANGO DE VALIDACIÓN

Se debe verificar que los valores de los datos están dentro de un rango aceptable.

Se va a crear dos umbrales de validación, el primero será 3 veces la desviación estándar y el Segundo será 5 veces la desviación estándar.

Para realizar dicho rango se toma una serie de datos de 5 años, inmediatamente anterior al dato que se quiere validar, se agrupan los datos estacionalmente y se calculan las desviaciones estándar. El resultado para el año 2010 es el siguiente:

2.3.3.1. Gráfico 8: Rangos de validación.



Como se puede observar, con éste método aparecen 4 datos (de un total de 365) que están fuera del rango aceptable, dichos datos son eventos extraordinarios que deben ser validados cuidadosamente.

Dependiendo donde se encuentren los datos, serán marcados de diferente manera:

- Valor dentro del umbral 3: Marcado con 300
- Valor entre los umbrales 3-5: Marcado con 305
- Valor fuera del umbral 5: Marcado con 310

Si el dato está fuera del rango, se procede a evaluarlo manualmente, aunque no se marca como erróneo porque el dato puede ser parte de un evento extraordinario.

Los datos dentro del rango 5 o dentro del rango 3 son enviados al siguiente paso en la validación. La única diferencia entre ellos, si todo continúa de forma correcta, es que los datos terminan el proceso de validación marcados con un 400 que significa “todo correcto, paso 4 terminado” o marcados con un 405 que significa “paso 4 terminado, el dato es correcto aunque proviene de un evento inusual”

2.3.4. PRUEVA DE CONSISTENCIA ESPACIAL

Esta verificación compara el mismo parámetro en diferentes estaciones de medida. La idea es que los valores de las estaciones vecinas, al mismo tiempo, no debe de desviarse mucho unas de otras. Se ha comprobado, sin embargo, que esto no es siempre cierto, sobre todo en precipitación, pero si que es cierto una gran mayoría de las veces, lo que sirve para crear un índice de valoración general. Ésta no correlación eventual puede deberse a la abrupta topografía de los Alpes Ticineses.

Primero se debe establecer una correlación entre los datos registrados en la estación que se quieran validar sus datos y las demás estaciones de la región.

Se escogen aquellas 3 estaciones que tengan la más alta correlación con la estación a estudio, mínimo un 80% y se compara el dato de un momento determinado con los datos obtenidos en las diversas estaciones ponderando sus respectivas correlaciones. Esto crea un rango de valores posibles para dicha estación. Si el valor está entro de dicho rango se considera correcto y si no se envía a validación manual.

La correlación entre dos series de datos (X e Y) se ha calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$\rho_{XY} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\overline{XY} - \bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\bar{X})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i^2 - (\bar{Y})^2}}$$

De la misma forma se pueden completar lagunas puntuales en la base de datos estableciendo la media de dichos rangos como ya se ha sugerido anteriormente

- Dato correcto: Marcado con 400 o 405
- Dato incorrecto: Marcado con 410

Si el dato es correcto y proviene del rango de 3 veces la desviación estándar se marca con un 400 si viene del rango de 3 veces la desviación estándar se marca con un 405. Con ésta diferencia,

una vez finalizado el proceso de validación, es posible conocer si el dato es típico o proviene de un evento inusual.

Los datos erróneos son enviados automáticamente al proceso de validación manual. Si el dato es correcto, la validación concluye.

2.3.5. EL PROCESO DE VALIDACIÓN MANUAL

No importa como de probado y fiable sea el sistema de validación de datos, siempre necesitará el punto de vista humano; un experto con conocimiento específico sobre la dinámica de la base de datos porque un dato completamente fuera de todo rango puede ser real en un evento extraordinario y sería un gran error no tenerlo en cuenta.

Si la validación manual termina y el dato no ha sido cambiado se marca con un 500.

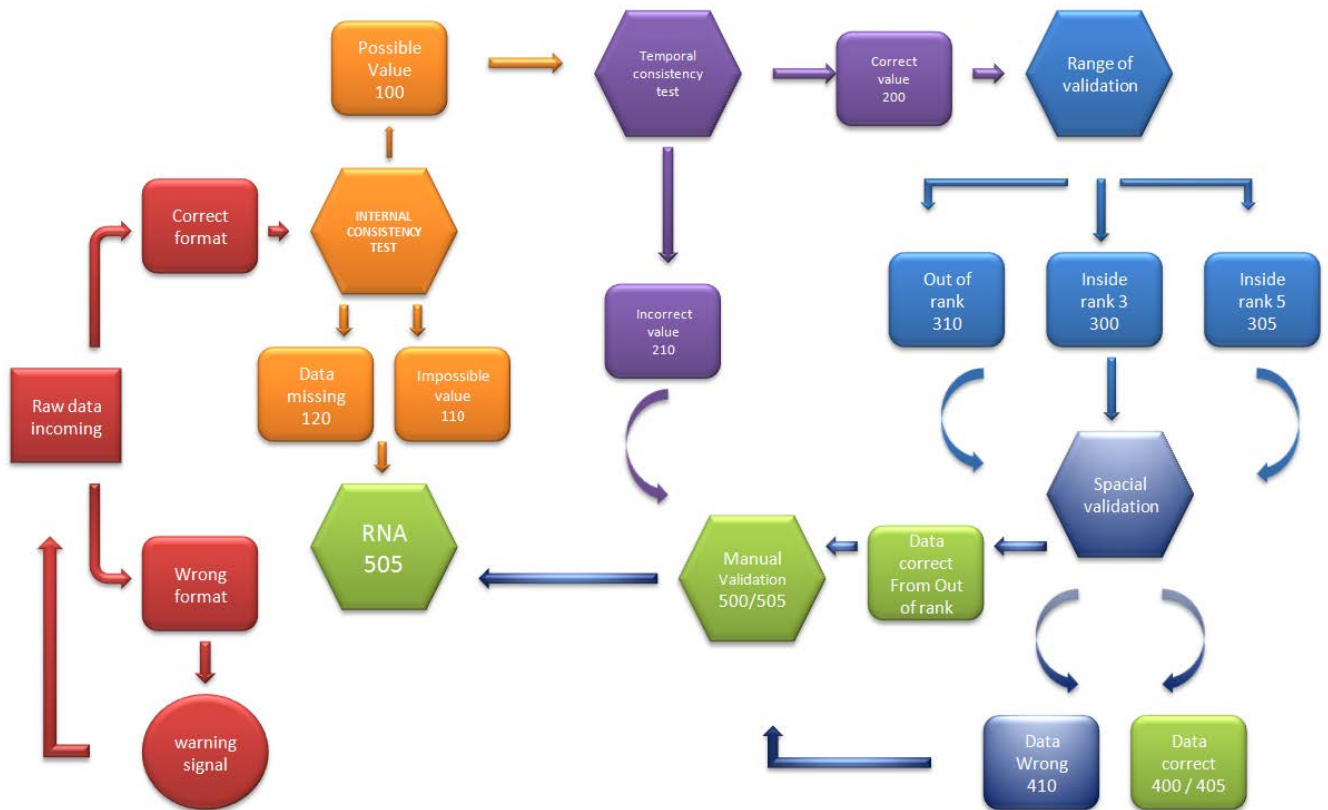
El experto puede cambiar el dato por otro creado artificialmente, por ejemplo por la red neuronal, este dato se marcará con la terminación -05.

3. DIAGRAMAS DE FLUJO DE VALIDACIÓN DE DATOS

A continuación se presenta los diagramas de flujo por donde discurren los datos tal y como se ha explicado anteriormente.

Según los datos van circulando por el diagrama se las va añadiendo una terminación, que va cambiando según en qué fase nos encontremos. De éste modo si por cualquier circunstancia se detiene el flujo ya sea para solventar un error o para cualquier estudio, se podrá conocer exactamente en qué momento se encuentra el dato.

3.1. Diagrama de flujo genérico



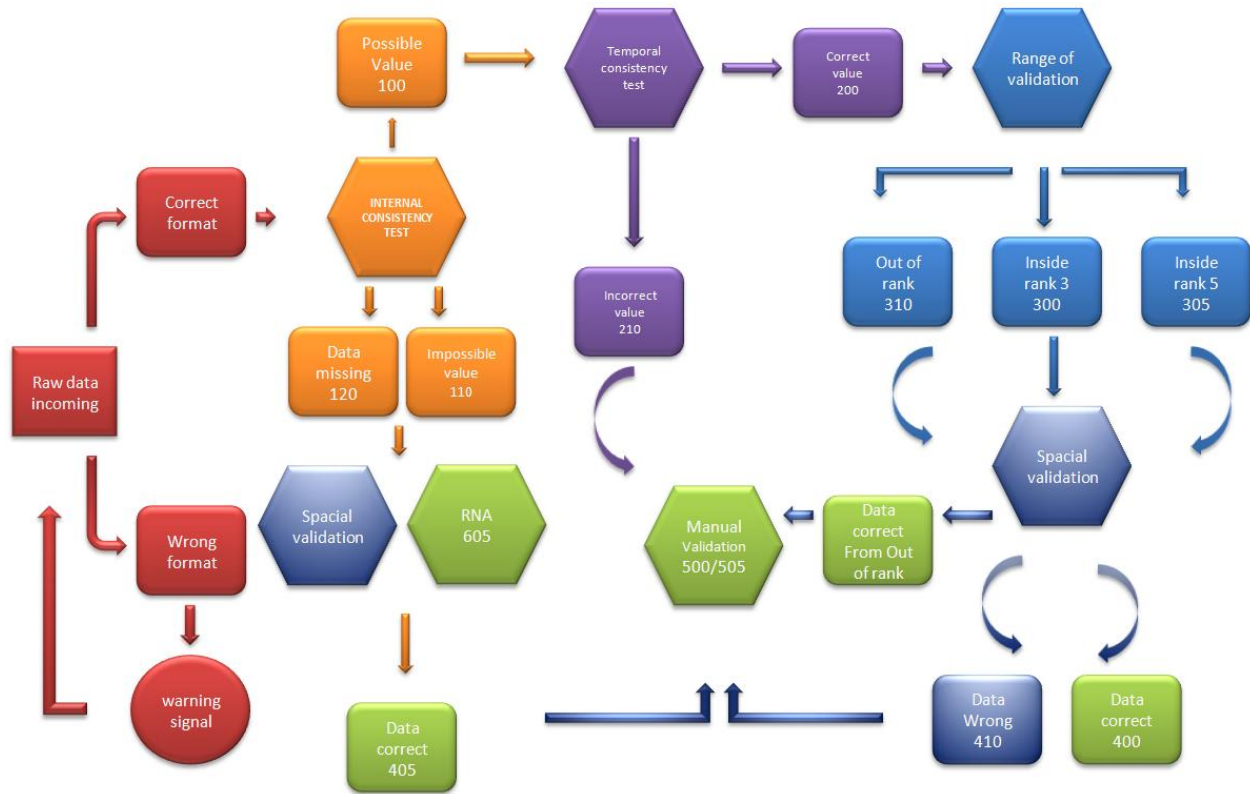
El diagrama anterior ha sido pensado como genérico, es decir que debe valer para validar los datos de cualquier fenómeno hidrológico que se desee pero que debe ser adaptado a cada uno de ellos para maximizar su eficacia y contemplar sus peculiaridades. Se podría decir que vale para todos y para ninguno.

El diagrama genérico contempla todos los pasos de validación de datos establecidos en un orden lógico.

Dicho diagrama debe ser informatizado y a partir de él se deben crear los diferentes módulos de los que se programarán los diagramas específicos.

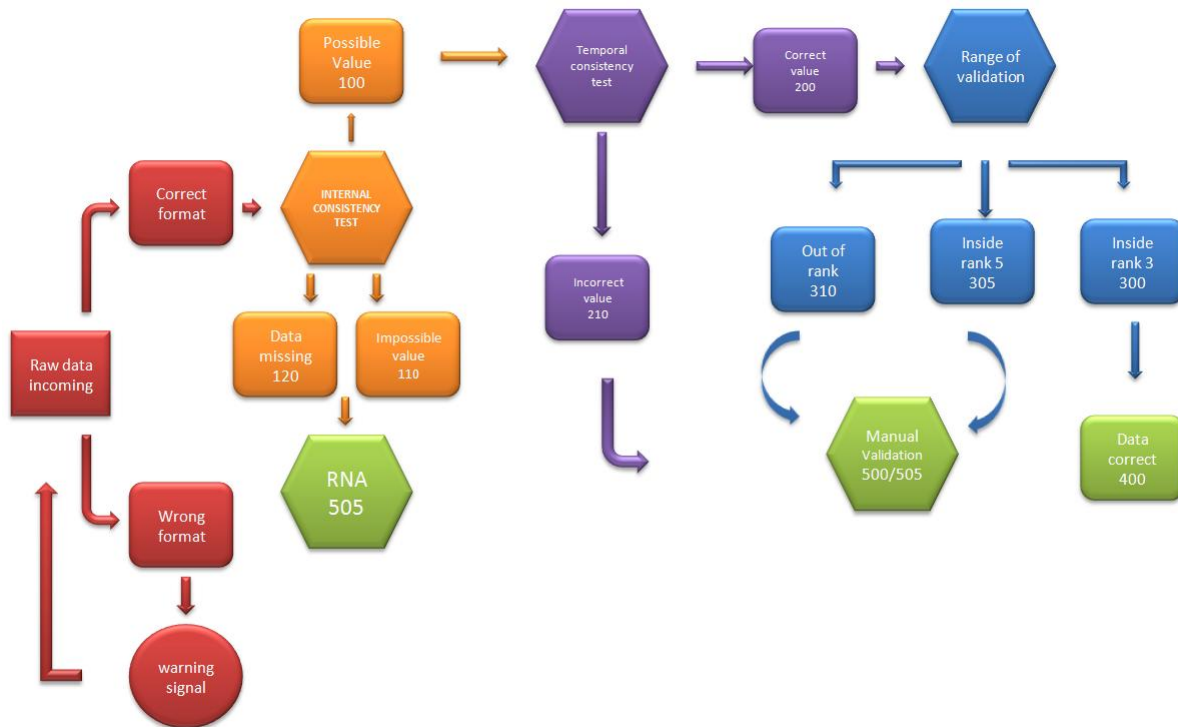
Toda la información debe fluir de forma automatizada ya que se trata de validar miles de datos cada día.

3.1.1. Diagrama de flujo de validación de datos de precipitaciones



El cambio principal que se observa en el diagrama específico para validar precipitaciones sobre el diagrama genérico es la aparición de la validación espacial como complemento de la red neuronal, o incluso como sustitutivo. Dado los buenos resultados que ha dado la validación de datos mediante la validación espacial se ha añadido como opción ya que se piensa que los datos obtenidos pueden ser más “directos” de este modo. Dependerá del técnico encargado la elección del método a implementar o el uso de los dos de forma paralela.

3.1.2. Diagrama de flujo de profundidad hídrica



En el caso de los caudales, se obtiene el diagrama anterior donde se elimina la validación espacial ya que no es válida, como se comprobará, y se pasan los datos fuera del rango de validación 3 directamente a la validación manual. Esto puede ser corregido si el estudio del curso en cuestión nos habla de datos periódicamente fuera del rango 3.

3.1.3. Significado de las marcas numéricas de los datos:

En primer lugar, se ha eliminado la marca -99,9999 ya que después de la validación no deben quedar huecos en la serie de datos temporal.

- La terminación -00 significa dato correcto y no modificado artificialmente
- La terminación -05 significa dato modificado artificialmente
- La terminación -10 significa que el dato es erróneo
- La terminación -20 significa que el dato no existe en ese momento de la validación.

- El primer dígito indica el escalón de validación en que se encuentra el dato.

4. RED NEURONAL ARTIFICIAL

Se propone crear una Red neuronal artificial para la estimación de datos faltantes de precipitación en la estación meteorológica de Campo Valle Maggia, Tesino, Suiza.

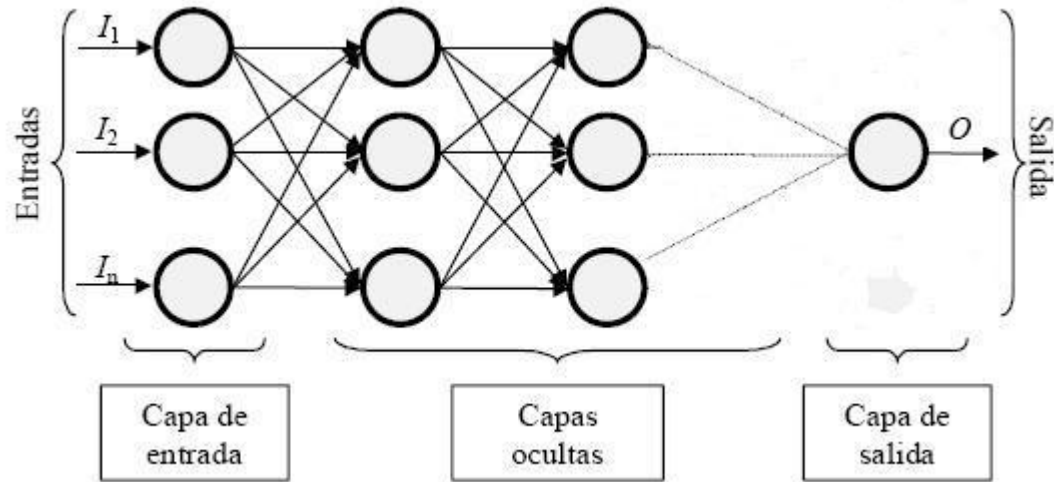
4.1. Introducción a las Redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales son sistemas de procesamiento de información con el propósito de entender el sistema nervioso biológico e imitar los métodos computacionales del cerebro (Shachmurove, 2002). Su capacidad de aprendizaje a través de ensayos repetidos, las ha hecho muy populares en una amplia variedad de aplicaciones en todas las ciencias. Su reciente implementación en hidrología, en concreto en completado de series de datos hidrológicos se debe al hecho de que las ANN han demostrado ser una herramienta muy útil por su sorprendente habilidad para capturar relaciones no lineales entre variables. De hecho, pueden aproximar cualquier función no lineal si son correctamente especificadas (Tkacz y Hu, 1999).

4.1.1. Relación entre las redes neuronales biológicas y las redes neuronales artificiales.

El elemento funcional básico del cerebro es la neurona. La neurona, a su vez, está conformada por un cuerpo o soma, unas dendritas y un axón. Cada neurona recibe estímulos eléctricos de otras neuronas a través de las dendritas. En el soma se lleva a cabo la combinación de toda la información obtenida en las dendritas. Estas señales son amplificadas o disminuidos durante la sinapsis y luego sumados. Finalmente, si la suma de todos los estímulos es mayor que cierto umbral el axón transmite a otras células el mensaje resultante. Estas conexiones sinápticas, cuya intensidad es variable, se usan para enviar mensajes entre neuronas. Las neuronas almacenan la información y aprenden patrones al reforzar sus conexiones.

La neurona artificial recibe distintos valores de entrada *-inputs-* que son multiplicados por una ponderación. En el escenario más simple, estos productos son sumados para obtener un valor de salida *- output -* .



Esquema de las capas de una red neuronal

Cada conexión entre un *input* y un *output* está caracterizada por un peso que expresa la importancia relativa de un *input* particular en el cálculo del *output*. Para calcular el valor del *output* en el momento t , la neurona de salida recopila los valores de cada neurona de entrada en la observación t y multiplica cada uno de ellos por un peso asociado con la conexión relevante. A continuación se suman estos productos y se obtiene la ecuación siguiente :

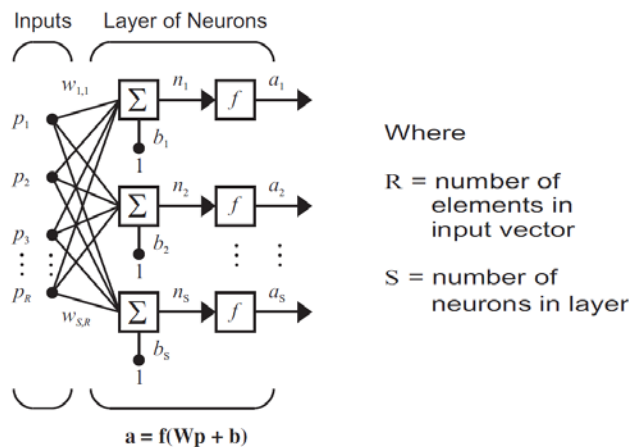
$$y_t = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_I x_I = \sum_{i=1}^I \beta_i x_i$$

En sus cálculos, la red tratará de reproducir el valor del *output*, dados los valores de los *inputs*.

Ahora, si se cree que existen asimetrías entre los *inputs* y el *output*, debe generalizarse con la introducción de no linealidades en la relación. Esto puede lograrse incorporando una función de umbral, que permita que una suma ponderada de los *inputs* suficientemente grande active un cambio de régimen discreto. Sin embargo, el cambio de régimen no tiene que ser abrupto y para ello se emplean funciones de activación suaves, tales como la función logística, que ha sido la aplicada en el presente trabajo.

4.1.2. Arquitectura

Por arquitectura de una red neuronal artificial se entiende el conjunto de *inputs* incluidos en la parte no lineal, p , que puede estar completamente contenido en el conjunto de k variables asociadas a la parte lineal; así como el número de unidades ocultas, q , y el número de superficies ocultas, necesarias para la determinación del componente no lineal (Misas et al., 2003).



Esquema de los pesos y variables de una red neuronal

El tipo de red neuronal que se aborda en este trabajo posee 3 neuronas de entrada, se alimenta hacia delante, *feedforward* (la información fluye desde la superficie input hacia la neurona de salida output) y con una única superficie escondida o “single hidden layer que consta de 10 neuronas.

Se ha escogido la serie de datos pluviométricos de la estación de Campo Valle Maggia. Se dispone de una serie de datos diez minutal completa desde 2008 hasta la actualidad.

4.2. Preparación de los datos

Previo a la construcción de la red neuronal, la base de datos de Campo Valle Maggia tiene que ser tratada para que sea posible trabajar con ella.

Los datos se han transformado en diarios para evitar la sobresaturación de datos de valor cero.

Puesto que se va a trabajar con la función logística en las capas ocultas de la red, la base de datos debe escalarse para que tome valores comprendidos entre [0;1]

Es escalado re realiza de la siguiente forma:

$$x = \frac{(U_x - L_x) \cdot x' + (M_x \cdot L_x - m_x \cdot U_x)}{M_x - m_x}$$

Donde:

X= variable escalada; será la que finalmente procese la red neuronal

U_x= 1

L_x= 0

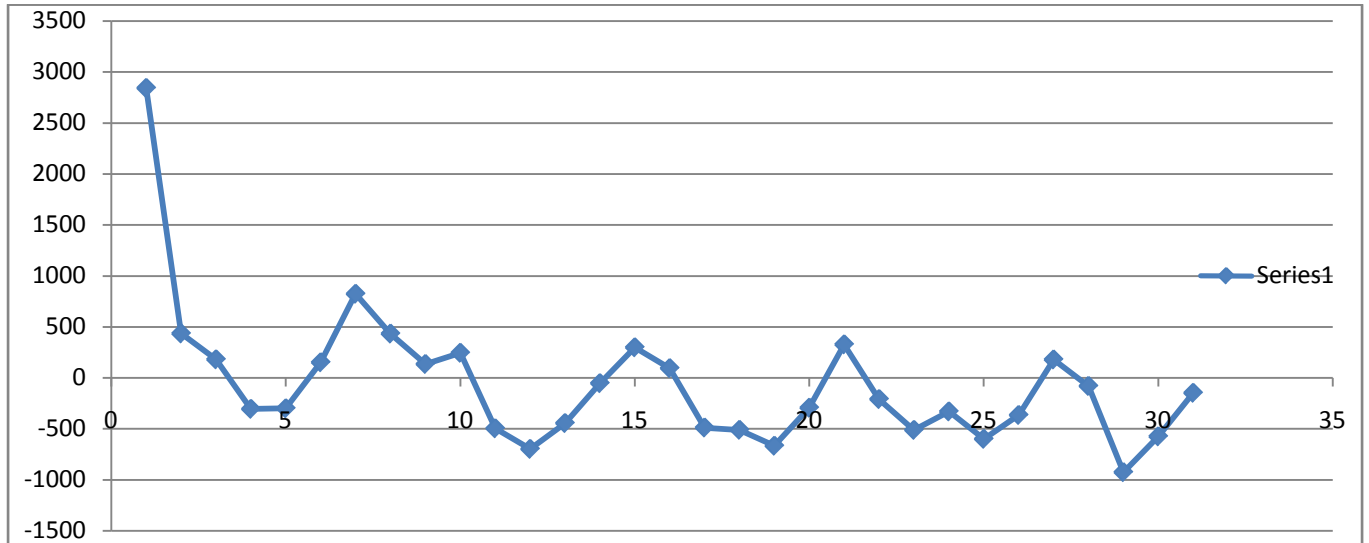
M_x= Máximo de la muestra original

m_x= mínimo de la muestra original

x'= Variable original

Posteriormente se ha calculado el autocorrelograma para conocer la relación que guardan los datos de la serie entre sí. A continuación se ha realizado el sumatorio de dicha covarianza para todos los datos de cada uno de los lags formando una fila que conforma el eje de las Y en el gráfico de la autocorrelación. El eje de las x es simplemente una secuencia numérica de 1 al 31 porque son 31 los lags estudiados.

4.3. Gráfico 9: Autocorrelograma lineal



Se deduce del gráfico anterior una correlación de 3 días, ya que son los 3 puntos iniciales los que tienen una correlación positiva.

El primer punto simboliza la relación de cada punto consigo mismo, lo cual es el máximo. El segundo y tercer punto indican la relación de los datos 2 y 3 días después. Más allá de eso los datos pierden significancia unos con otros y empiezan a ondear.

Se ha calculado asimismo el autocorrelograma con otro sistema:

Se ha tomado una serie de valores de precipitación diaria des de 20/09/2010 hasta 08/12/2010, conformando un total de 72 datos. Se ha calculado la diferencia de ese dato con la media del total creando una nueva columna de datos.

4.4. Tabla 18: Cálculo Autocorrelación 1

Y	Y-Ybar	Y	Y-Ybar	Y	Y-Ybar	Y	Y-Ybar
0	-5,49444444	0	-5,49444444	21,9	16,40555556	0	-5,49444444
0	-5,49444444	0	-5,49444444	1,7	-3,79444444	1,1	-4,39444444
0,2	-5,29444444	0	-5,49444444	2,1	-3,39444444	0	-5,49444444
2,5	-2,99444444	0	-5,49444444	2	-3,49444444	2,3	-3,19444444
0,1	-5,39444444	0	-5,49444444	0	-5,49444444	4,5	-0,99444444
1,5	-3,99444444	0	-5,49444444	1,9	-3,59444444	1	-4,49444444
45,4	39,90555556	7,2	1,70555556	0	-5,49444444	0	-5,49444444
28,2	22,70555556	2,5	-2,99444444	4,2	-1,29444444	0	-5,49444444
0	-5,49444444	0	-5,49444444	52,4	46,90555556	1,2	-4,29444444
0	-5,49444444	0	-5,49444444	20,4	14,90555556	1,1	-4,39444444
0,2	-5,29444444	0	-5,49444444	0	-5,49444444	0	-5,49444444
0	-5,49444444	0	-5,49444444	9,5	4,00555556	0,2	-5,29444444
0	-5,49444444	10,2	4,70555556	1,6	-3,89444444		
0	-5,49444444	84,8	79,30555556	6,6	1,10555556		
0	-5,49444444	27,1	21,60555556	45,9	40,40555556		
0	-5,49444444	0	-5,49444444	3,3	-2,19444444		
0	-5,49444444	0	-5,49444444	0	-5,49444444		
0	-5,49444444	0	-5,49444444	0	-5,49444444		
0,4	-5,09444444	0	-5,49444444	0	-5,49444444		
0	-5,49444444	0	-5,49444444	0,4	-5,09444444		

Se ha calculado Γ_0 que es la varianza en función de toda la población y tiene un valor de 204,693 y a partir de Γ_0 y de la tabla anterior se ha calculado la tabla de datos siguiente:

4.5. Tabla 19: Cálculo Autocorrelación 2

lag k	γ_k	r_k	r_k^2	$V(r_k)$	$2S(r_k)$	$2S(r_k)$
1	57,7501076	0,282130698	0,07959773	0,01388889	-0,23570226	0,23570226
2	-19,46932184	-0,095114859	0,00904684	0,01609994	-0,253771054	0,253771054
3	-14,00218493	-0,068405868	0,00467936	0,01635124	-0,255743919	0,255743919
4	-25,37731653	-0,123977605	0,01537045	0,01648122	-0,25675841	0,25675841
5	-10,99953146	-0,053736792	0,00288764	0,01690818	-0,260062893	0,260062893
6	17,32231224	0,084625921	0,00716155	0,01698839	-0,260679032	0,260679032
7	15,76902478	0,077037536	0,00593478	0,01718732	-0,262200849	0,262200849
8	-1,008483368	-0,004926815	2,4274E-05	0,01735218	-0,263455319	0,263455319

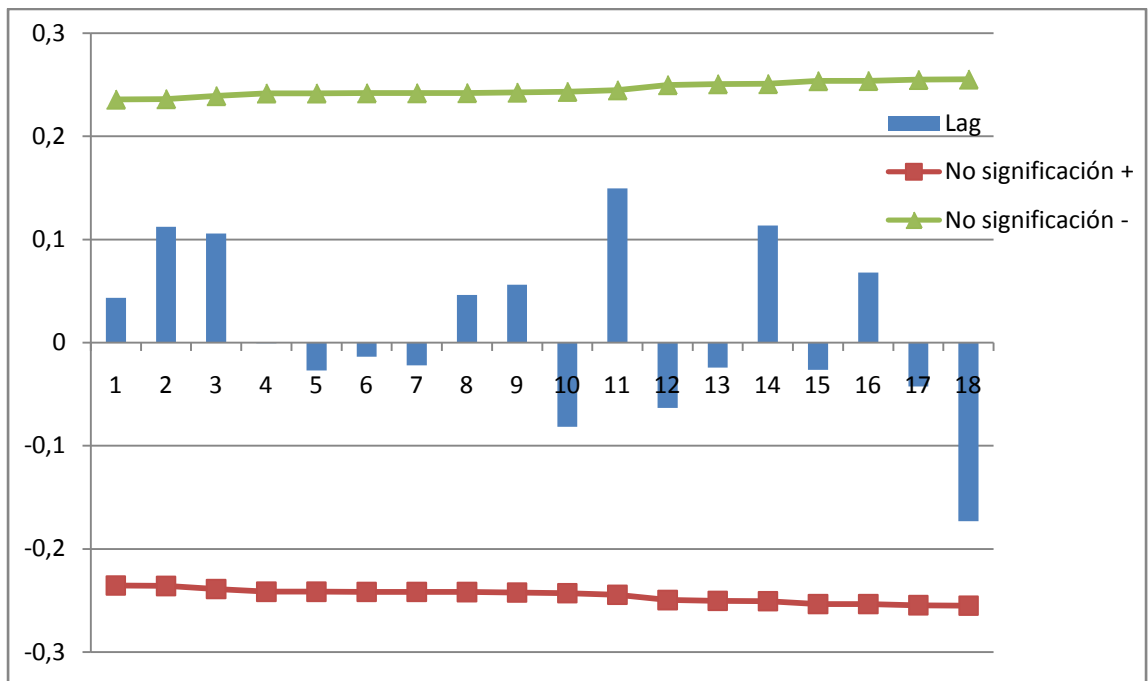
9	-14,30961806	-0,069907792	0,0048871	0,01735285	-0,263460438	0,263460438
10	-21,06363083	-0,10290365	0,01058916	0,0174886	-0,264488967	0,264488967
11	-21,02899391	-0,102734436	0,01055436	0,01778275	-0,266703931	0,266703931
12	-22,99634002	-0,112345652	0,01262155	0,01807592	-0,268893462	0,268893462
13	-21,50149477	-0,105042778	0,01103399	0,01842652	-0,271488652	0,271488652
14	13,49004801	0,065903889	0,00434332	0,01873302	-0,273737258	0,273737258
15	45,86284079	0,22405699	0,05020153	0,01885367	-0,27461733	0,27461733
16	5,733272462	0,028009163	0,00078451	0,02024816	-0,284592034	0,284592034
17	-22,21974494	-0,108551697	0,01178347	0,02026995	-0,284745139	0,284745139
18	-14,94160494	-0,072995283	0,00532831	0,02059727	-0,287034961	0,287034961

Siendo:

- Lag k: Los posibles lags o distancias de correlación estudiados.
- Gamma_k: La Multiplicación de los componentes correspondientes de las matrices suministradas, devolviendo la suma de esos productos, de los datos según el lag que le corresponda dividido el total de datos que es 72.
- R_k: coeficiente de correlación
- R_k²: es lo anterior elevado al cuadrado
- V(r_k): varianza
- $-2\sqrt{V(r_k)}$: -2 *raíz varianza, que es el coeficiente de no significación negativo.
- $2\sqrt{V(r_k)}$: 2 *raíz varianza, que es el coeficiente de no significación positivo.

Se obtiene el siguiente gráfico de autocorrelación:

4.6. Gráfico 10: Autocorrelación



A partir del lag 3, como se observa, deja de tener significación unos datos con otros.

Por lo tanto tenemos 3 lags significativos.

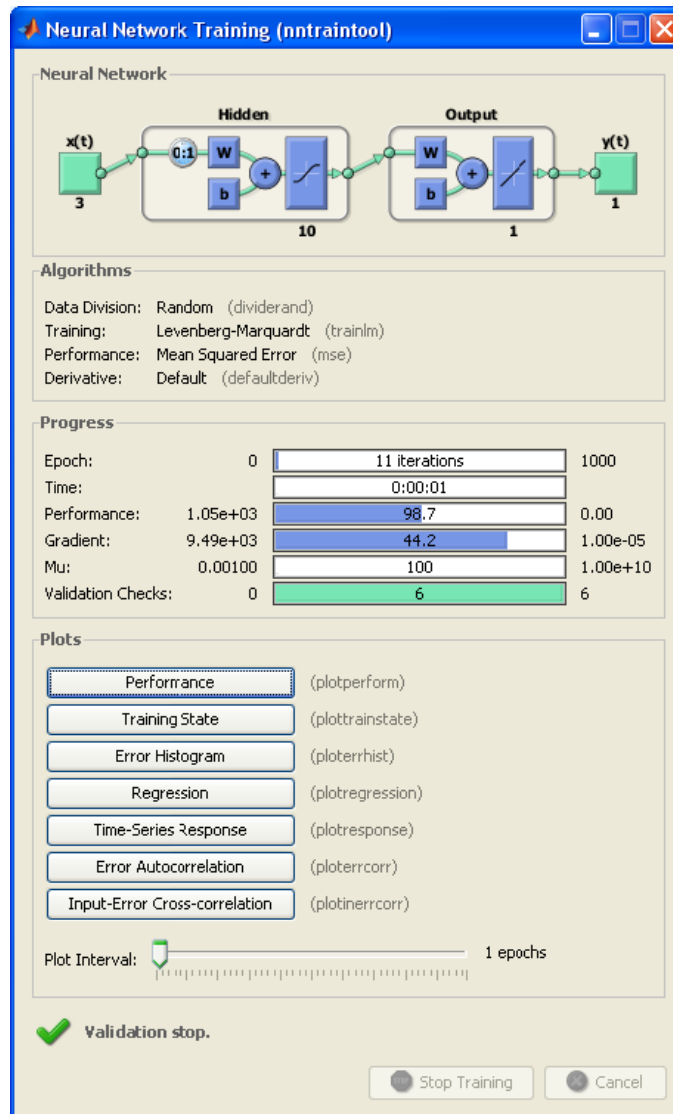
4.6.1. La red neuronal

Se va a utilizar una red neuronal No lineal input-output, que predice una serie $Y(t)$ dados d valores pasados de $X(t)$. La red será *backpropagation* con 3 inputs (lag 3) y un output (el dato que falta para completar la serie).

4.6.2. Serie de datos

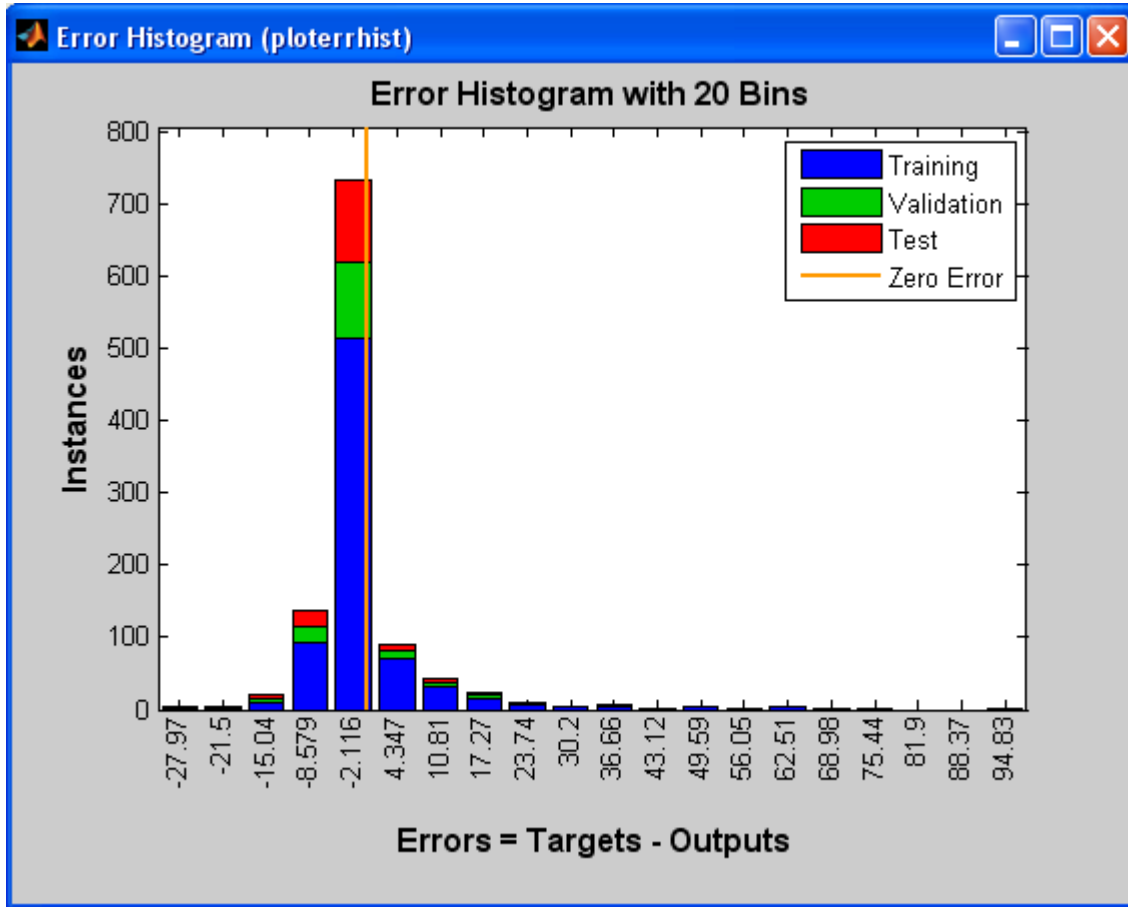
Se ha escogido una serie de datos de 1098 datos que va desde el 1 de enero de 2008 hasta el 31 de diciembre de 2010.

Se plantea utilizar el 70% de la serie para el aprendizaje (767 datos), el 15 % para la validación (165 datos) y el 15% para pruebas (165 datos).



Esquema de Matlab de la red neuronal y su proceso de entrenamiento.

4.7. Gráfico 11 Error de la red neuronal



Una vez terminado el entrenamiento, se calcula el error obtenido por la red neuronal, como se puede observar el error está muy cerca del cero. Sin embargo, se desprende que aún se podría optimizar más la red neuronal, además de futuras modificaciones para aplicarla al completado de series de datos de otros fenómenos meteorológicos.

CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL SISTEMA DE VALIDACIÓN DE DATOS PROPUESTO.

1.1. Precipitación

Se va a realizar la misma comprobación para dos series finitas de datos. Se prevé que cuando el sistema esté informatizado se validarán todos los datos de la misma forma y automáticamente. Es importante recalcar que un valor de lluvia 0 para un día, aunque muy común, es el dato más probable en el caso de rotura u obturación de la estación de medición, por lo que una vez el sistema esté programado dichos datos serán susceptibles del mismo proceso de validación que cualquier dato fuera de rango.

1.1.1. Serie 1

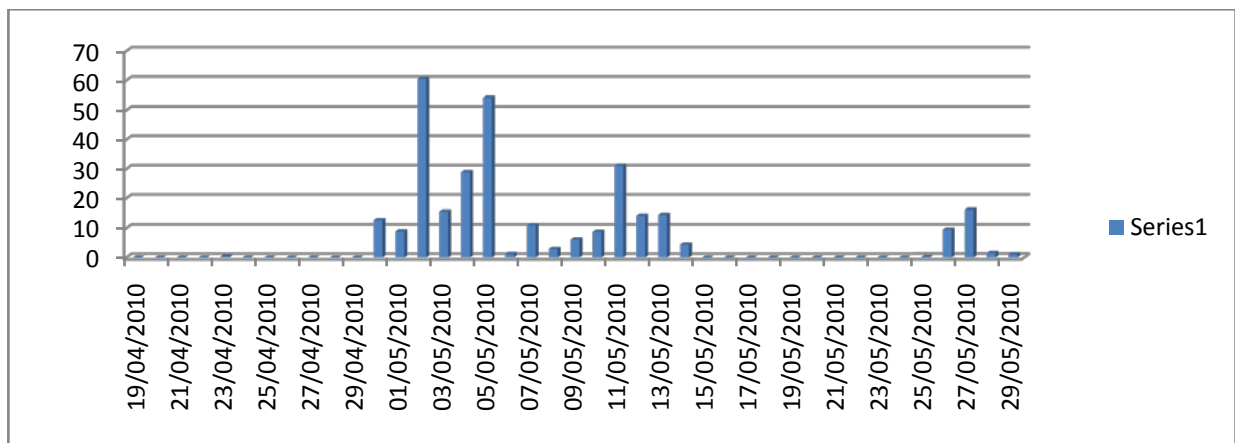
Se va a tomar una serie restringida de datos, en concreto 40 días de datos de la lluvia registrada en el pluviómetro de Campo valle Maggia. Las fechas comprendidas son: 19/04/2010 al 29/05/2010. Dicha serie ha sido elegida al azar entre los datos de los últimos 5 años. Los datos se han transformado de 10 minutales a diarios acumulando la lluvia total en ese día.

1.1.2. Tabla 20 Serie 1

19.04.2010	0	10.05.2010	8.7
20.04.2010	0	11.05.2010	31.1
21.04.2010	0	12.05.2010	14.2
22.04.2010	0	13.05.2010	14.5
23.04.2010	0.3	14.05.2010	4.4
24.04.2010	0	15.05.2010	0
25.04.2010	0	16.05.2010	0
26.04.2010	0	17.05.2010	0
27.04.2010	0	18.05.2010	0
28.04.2010	0	19.05.2010	0

29.04.2010	0	20.05.2010	0
30.04.2010	12.7	21.05.2010	0
01.05.2010	8.9	22.05.2010	0
02.05.2010	60.5	23.05.2010	0
03.05.2010	15.6	24.05.2010	0
04.05.2010	28.9	25.05.2010	0.1
05.05.2010	54.2	26.05.2010	9.5
06.05.2010	1.2	27.05.2010	16.2
07.05.2010	11	28.05.2010	1.5
08.05.2010	2.9	29.05.2010	1.1
09.05.2010	6.1		

1.1.3. Gráfico 12: Serie 1



Los datos han llegado en el formato correcto, en caso contrario se envía un correo electrónico automáticamente, y se procede a la prueba de consistencia interna.

Como no se encuentra ningún dato faltante ni ningún dato imposible (por ejemplo negativo) se dan por válidos los datos en éste paso y se marcan automáticamente con un “100”.

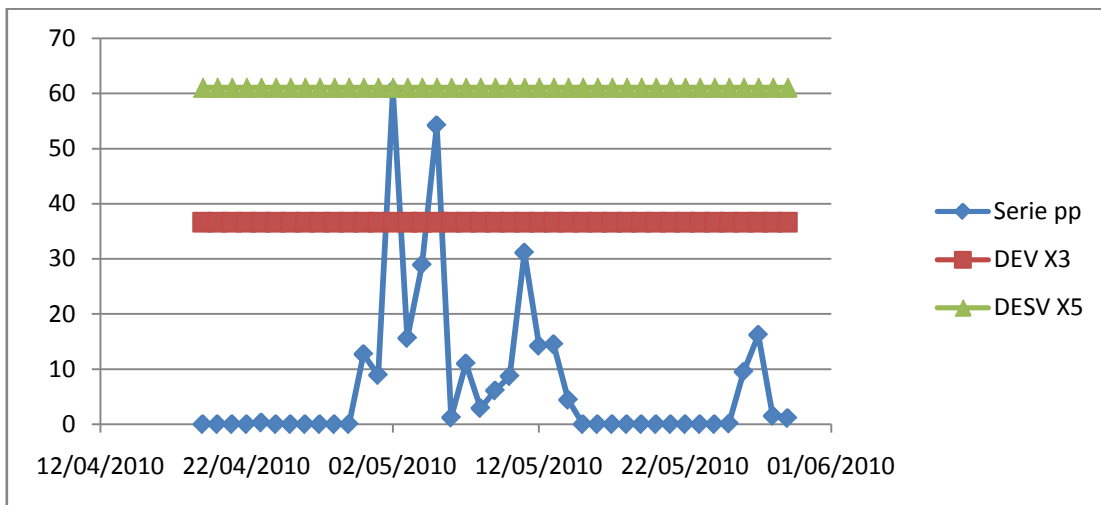
Se procede a realizar el test de consistencia temporal, que en el caso de la lluvia se especifican dos condiciones: creciente valor de la variable tiempo, en este caso no hay ningún dato erróneo y que no exista ningún dato diez minutal que sobrepase la barrera de 40mm, es decir que en 10 minutos no exista un aumento de la precipitación mayor de 40 mm. Aunque se han transformado los datos de 10 minutales a diarios, por comodidad a la hora de trabajar, la base de datos original

es 10 minatural y en ningún caso se supera dicha barrera. Como se cumplen todos los requisitos el marcador cambia a 200.

El siguiente paso son los rangos de validación que para este caso son los siguientes:

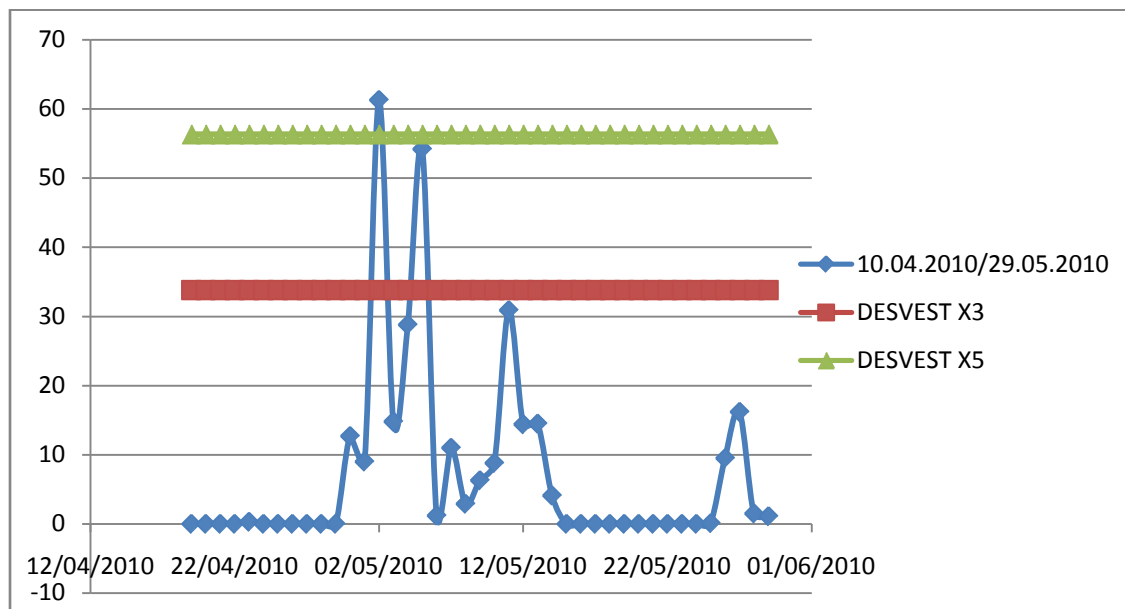
El siguiente gráfico presenta los rangos de 3 veces y 5 veces la desviación estándar calculada sobre los datos del mismo año:

1.1.4. Gráfico 13 Rangos de validación anuales



El siguiente gráfico se presentan dichos datos pero los rangos de validación de 3 veces y 5 veces la desviación estándar están calculados estacionalmente con datos de los 5 años anteriores, que al final va a ser la metodología a emplear ya que es más representativa:

1.1.5. Gráfico 14: Rangos de validación 5 años. Estacional



Para el caso de la lluvia, solo existe rango superior por que todos los datos menores de cero son imposibles. En este caso sólo 2 datos tienen una variación apreciable con respecto al resto, el dato fuera del rango 5 se marcará con un 310, al dato entre rangos con un 305 y el resto con un 300.

Además se ha demostrado que la alta variabilidad de la lluvia hace que la existencia de datos fuera del rango no sea extraordinaria, de modo que la validación espacial se hace imprescindible para éste caso. Lo contrario sucede cuando se estudian variables como el calado de los cursos de agua o su temperatura, donde tiene mucho menos valor, o ninguno, la validación espacial.

Los datos pasan a la siguiente fase: La validación espacial.

Para esta validación se tienen en cuenta los datos obtenidos en las estaciones disponibles y su correlación con la estación problema.

No se va a realizar corrección altitudinal, porque no se ha percibido una correlación clara en el estudio realizado, se debe seguramente al situarse en un entorno tan abrupto como es el alpino.

La correlación espacial entre las diversas estaciones meteorológicas se ha calculado para una pluviometría diaria (la mensual daba resultados daba resultados no concluyentes debido a que se

obtienen datos demasiado homogéneos y la horaria o diezminutal producía una sobresaturación de datos con valor cero) utilizando los datos de la serie comprendida entre el 1 de enero de 2005 y el 31 de diciembre de 2010. Los datos se han agrupado estacionalmente (Invierno: Diciembre, Enero y febrero. Primavera: Marzo, Abril, Mayo. Verano: Junio, Julio, Agosto y Otoño: Septiembre, Octubre, Noviembre.)

Obteniendo los siguientes resultados Para la estación de Campo Valle Maggia:

1.1.6. Tabla 21 Correlaciones estacionales

Primavera

Olivone	Bedretto	Fusio	Frasco	Lodrino	Gnosca
0.85509	0.845095	0.920447	0.886587	0.793288	0.762160
Giubiasco	Somazzo	Luzzone	Cavergno	Airolo	Piotta
0.7959794	0.71186158	0.73895493	0.89827006	0.7477747	0.77652
Maggia	Camedo	Isonne	Mendrisio	Chiasso	Arosio
0.847752	0.909506	0.808632	0.7084	0.69037	0.694
Faido	Cevio	Bosco	Locarno	Biasca	CVM
0.79034	0.81907	0.82882	0.7877	0.7534	1

Verano

Olivone	Bedretto	Fusio	Frasco	Lodrino	Gnosca
0.817046	0.856893	0.852	0.82106	0.698127	0.636362
Giubiasco	Somazzo	CVM	Luzzone	Cavergno	Airolo
0.651248	0.479731	1	0.79333	0.903364	0.695790
Maggia	Camedo	Isonne	Mendrisio	Chiasso	Arosio
0.820440	0.832677	0.60296	0.480612	0.422430	0.575762
Piotta	Faido	Cevio	Bosco	Locarno	Biasca
0.622073	0.634239	0.690031	0.780096	0.662655	0.703173

Otoño

Olivone	Bedretto	Fusio	Frasco	Lodrino	Gnosca
0.85347	0.912790	0.93010	0.863878	0.76321	0.780229
Giubiasco	Somazzo	CVM	Luzzone	Cavergno	Airolo
0.75072	0.73110	1	0.77301	0.9484118	0.81431
Maggia	Camedo	Isona	Mendrisio	Chiasso	Arosio
0.839069	0.960889	0.730766	0.714475	0.731298	0.681588
Piotta	Faido	Cevio	Bosco	Locarno	Biasca
0.83318	0.78707	0.83569	0.83856	0.689573	0.77319949

Invierno

Olivone	Bedretto	Fusio	Frasco	Lodrino	Gnosca
0.831890	0.679931	0.8360	0.854682	0.788399	0.819403
Giubiasco	Somazzo	CVM	Luzzone	Cavergno	Airolo
0.80113182	0.75815849	1	0.630301	0.849947	0.70604
Maggia	Camedo	Isona	Mendrisio	Chiasso	Arosio
0.843561	0.826260	0.800159	0.774460	0.817844	0.832631
Piotta	Faido	Cevio	Bosco	Locarno	Biasca
0.72495	0.69646	0.76122	0.78282	0.75730	0.69737

Si se quiere validar especialmente el dato del que se tienen sospechas pueda ser erróneo, en éste caso el dato del día 02.05.2010 que se sale del rango de 5 veces la desviación estándar. Se sigue el siguiente procedimiento:

Nótese que una vez informatizado el sistema se podrán comprobar todos los datos en cuestión de segundos.

- 1) Al ser un dato del mes de mayo se tomará la serie de correlación de primavera.
- 2) Se tomarán para la triangulación las tres estaciones en las que la correlación entre ellas sea mayor, en el caso de la estación de Campo Valle Maggia (CVM) se tomarán: Fusio (0.920447) Camedo (0.909506) y Cavergno (0.89827006). Para hacernos una idea de la

magnitud, las distancias a vuelo de pájaro entre CVM y dichas estaciones son: A Fusio: 22.5Km, a Caverigno: 10.5 Km, a Camedo 17 Km.

- 3) Nos remitimos a la base de datos general para conocer el dato de lluvia que dieron Fusio, Caverigno y Camedo el día 02.05.2010.
- 4) Con estos datos, y teniendo en cuenta la relación que guarda con las 3 estaciones cercanas y sin información directa, estableceríamos un valor artificial de precipitación para CVM, teniendo en cuenta la correlación entre estas 3 estaciones y la de Campo Valle Maggia, se establecen los siguientes rangos de valores:

1.1.7. Tabla 22 Rangos de valores serie 1

pp	relación	rango	
53.8	0.92	58.7496	
		48.8504	valor medio
100.8	0.9	109.872	69.4
		91.728	
53.6	0.89	58.3704	
		48.8296	

Para este caso, el dato artificial sería de 69.4 mm y el rango de valores posibles entre 48.8mm y 109.8. El dato real es de 60.5 con lo que se demuestra que a pesar de estar fuera del rango 5 veces superior a la desviación estándar, el dato es correcto ya que se encuentra dentro del rango de valores aceptables.

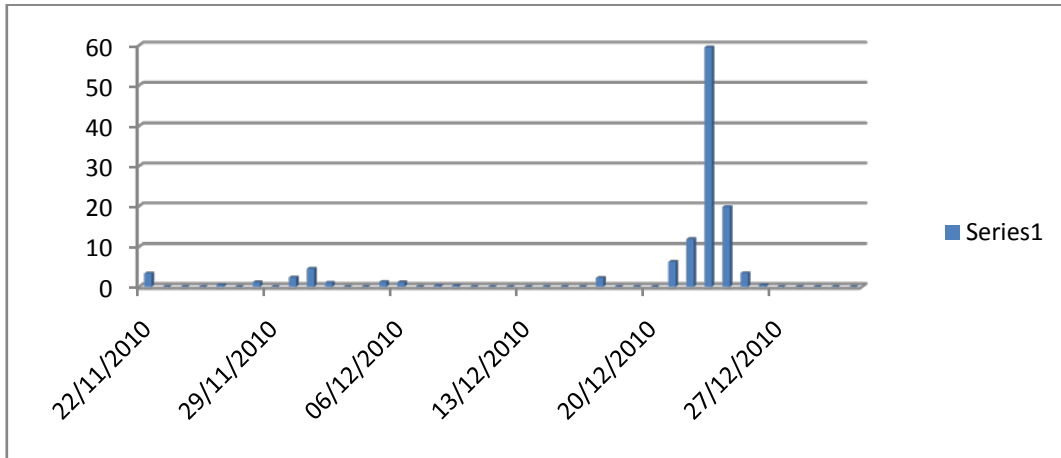
1.1.8. Serie 2

Segunda serie, comprende de 22.11.2010 a 31.12.2010

1.1.9. Tabla 23 Serie 2

22.11.2010	3.3	12.12.2010	0
23.11.2010	0	13.12.2010	0
24.11.2010	0	14.12.2010	0
25.11.2010	0	15.12.2010	0
26.11.2010	0.4	16.12.2010	0
27.11.2010	0	17.12.2010	2.2
28.11.2010	1.1	18.12.2010	0
29.11.2010	0	19.12.2010	0
30.11.2010	2.3	20.12.2010	0
01.12.2010	4.5	21.12.2010	6.2
02.12.2010	1	22.12.2010	11.9
03.12.2010	0	23.12.2010	59.5
04.12.2010	0	24.12.2010	19.8
05.12.2010	1.2	25.12.2010	3.4
06.12.2010	1.1	26.12.2010	0.4
07.12.2010	0	27.12.2010	0
08.12.2010	0.2	28.12.2010	0
09.12.2010	0.2	29.12.2010	0
10.12.2010	0	30.12.2010	0
11.12.2010	0	31.12.2010	0

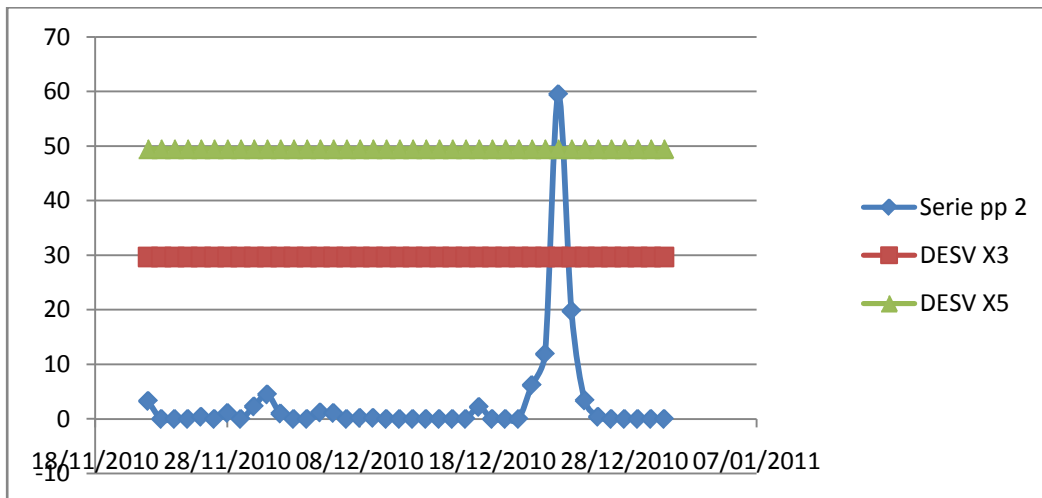
1.1.10. Gráfico 15 Serie 2



En esta serie, escogida al azar, existe aún una mayor variabilidad de datos.

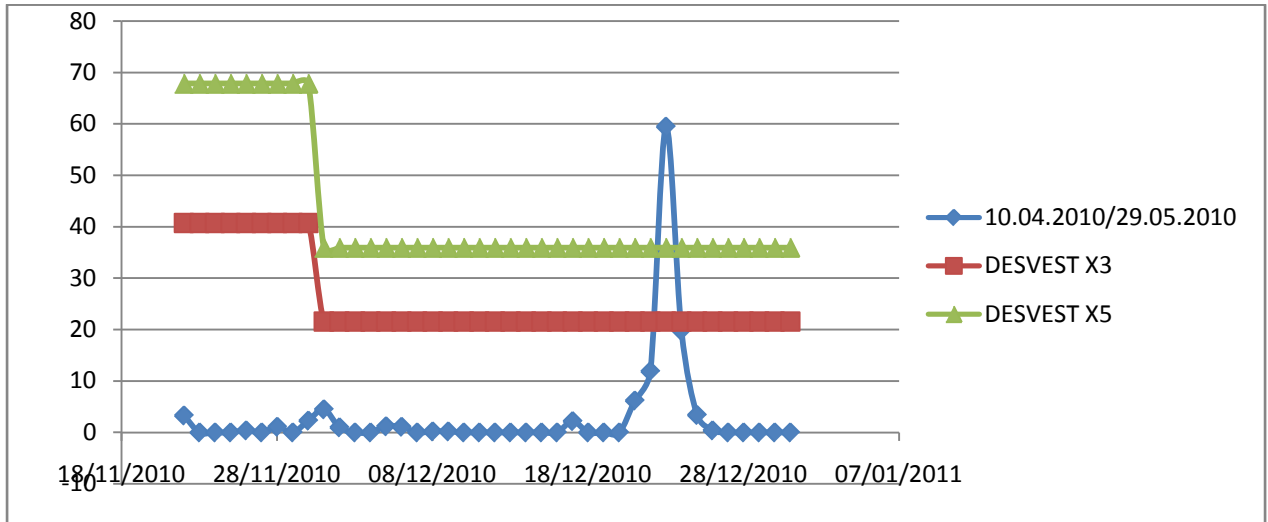
El siguiente gráfico presenta los rangos de 3 veces y 5 veces la desviación estándar calculada sobre los datos del mismo año:

1.1.11. Gráfico 16: Rangos de validación anual



En el siguiente gráfico se presentan dichos datos pero los rangos de validación están calculados estacionalmente con datos de los 5 años anteriores:

1.1.12. Gráfico 17: Rangos de validación 5 años. estacional



Como se observa, solo hay un dato por encima del umbral de 5 veces la desviación estándar. Se va a proceder a validar dicho dato espacialmente igual que en el caso anterior.

Los datos obtenidos para el mismo día por las estaciones bien correlacionadas son:

Fusio : 46.9 mm, Camedo 60.4 mm y Caverigno 62.4 mm.

Teniendo en cuenta la correlación entre estas 3 estaciones y la de Campo Valle Maggia, se establecen los siguientes rangos de valores.

1.1.13. Tabla 24 Rangos de valores serie 2

pp	relación	rango	
46.9	0.92	51.2148	valor medio 56.5666667
		42.5852	
60.4	0.9	65.836	
		54.964	
62.4	0.89	67.9536	
		56.8464	

Para este caso, el dato artificial sería de 56.56 mm , siendo el dato correcto 59.5, que está dentro de los valores aceptables que sería entre 42.58 y 67.95 y por lo tanto resulta validado.

La relación de fiabilidad de la valoración espacial es de alrededor del 90% para la estación de Campo Valle Maggia, lo que evidencia que el valor de los datos, en caso de aplicarse el valor sintético tendrá un error del 10%.

Una vez se automatice esta valoración, se podrá hacer para todos los datos de la serie y se conocerá con mayor exactitud la fiabilidad del sistema.

Una vez finalizado, el dato se marca con un 400 que indica que el dato ha sido validado correctamente y no ha sido modificado artificialmente.

En el caso de que el dato problema en lugar de analizarse porque se encuentra fuera del rango se encuentra un hueco en la serie, el valor sintético que se añadiría sería el 56.56 y se marcaría con un 405 que indica que ha sido modificado/ creado artificialmente.

1.2. CAUDALES

A continuación se va a proceder a valorar de la misma forma que los datos de precipitación los datos de caudal.

Se va a valorar primero la serie de caudales de la subcuenca aguas arriba de la estación de Campo Valle Maggia. En dicha subcuenca existen dos mediciones del caudal, una de ellas es una pequeña presa, por lo que los datos de la misma tienden a ser lineales, excepto en tiempos de grandes precipitaciones donde se abren las compuertas.

Aguas debajo de esta presa hay aforo Thomson del que se toman las medidas.



Aforo

Por otra parte hay un túnel excavado en la montaña, se trata de una zona pre alpina muy abrupta, que fue diseñado para captar y canalizar el agua ya que se trata de una zona con un alto riesgo de deslizamiento. A la salida de dicho túnel hay una pequeña estación de turbinaje.

Se considera la suma de las dos medidas como un flujo seminatural susceptible de validación

El experto del Istituto de scienza della terra la recomendado la utilización de estos datos y su aplicación en el sistema de validación de datos.



Estación de turbinaje

El hecho de que parte de los datos sean de origen artificial, modificados por la acción humana, hace que no sea posible establecer una relación entre las precipitaciones y los caudales, imposibilitando también cualquier posible correlación entre dos cursos de agua cercanos si uno fluye en régimen natural y el otro está controlado por una presa y entre la lluvia caída en la cuenca y el caudal.

1.2.1. Serie caudales

Una vez sumados ambos caudales medidos, se ha tomado la serie completa del año 2011. En éste caso se toma toda la serie ya que los caudales no han sido validados anteriormente por ningún método.

Los datos han llegado en el formato correcto, en caso contrario se envía un correo electrónico automáticamente, y se procede a la prueba de consistencia interna.

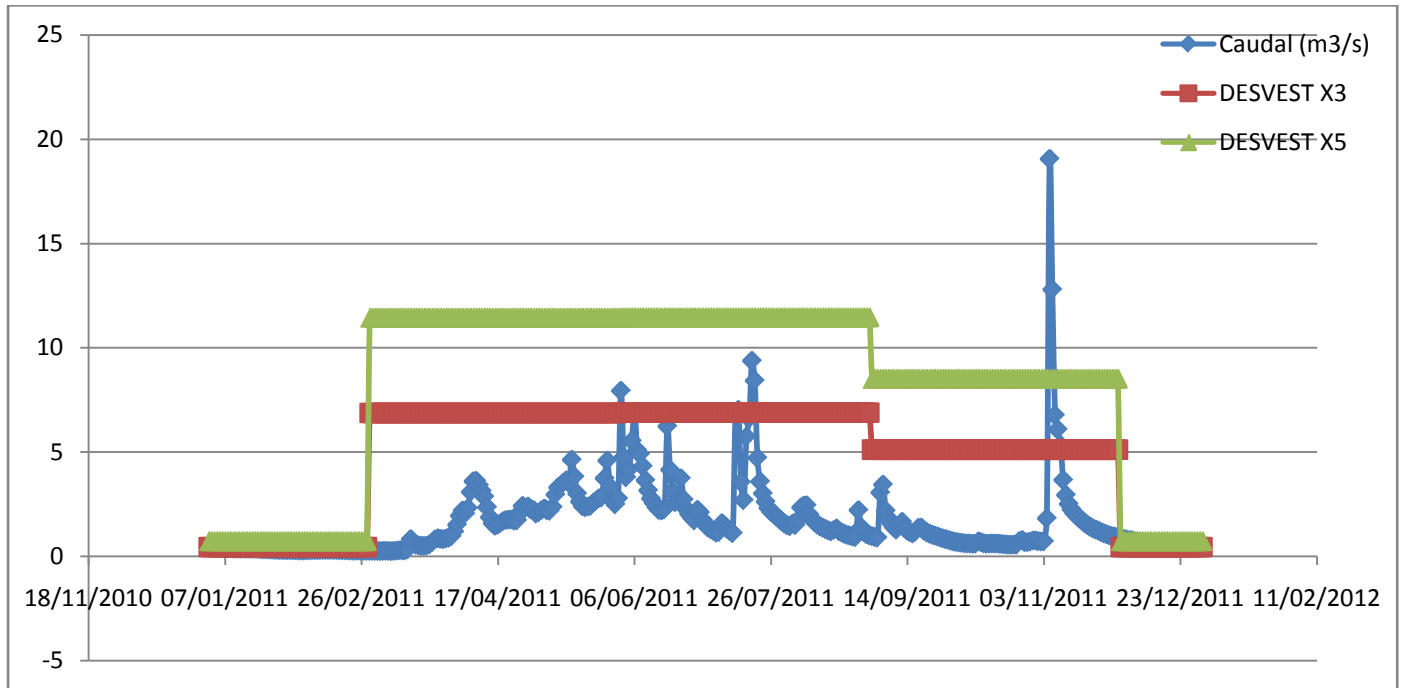
Como no se encuentra ningún dato faltante ni ningún dato imposible (por ejemplo negativo) se dan por válidos los datos en éste paso y se marcan automáticamente con un “100”.

Se procede a realizar el test de consistencia temporal, que en el caso de los caudales dependa de la dinámica y las posibilidades de cada curso. Se especifican dos condiciones: creciente valor de la variable tiempo, en este caso no hay ningún dato erróneo y que no exista ningún dato diez minutil que sobrepase la barrera de las posibilidades máximas del curso. Se debería hacer otra modelación hidrológica para dicho fragmento, como la realizada para el Rovana, del cual éste paso es afluente. Como sabemos del Rovana si supera los $521.5\text{m}^3/\text{s}$ se desborda, en éste caso el valor máximo ha sido $19.05\text{ m}^3/\text{s}$. Sin modelación hidrológica no podemos más que darlo por bueno.

El siguiente paso son los rangos de validación.

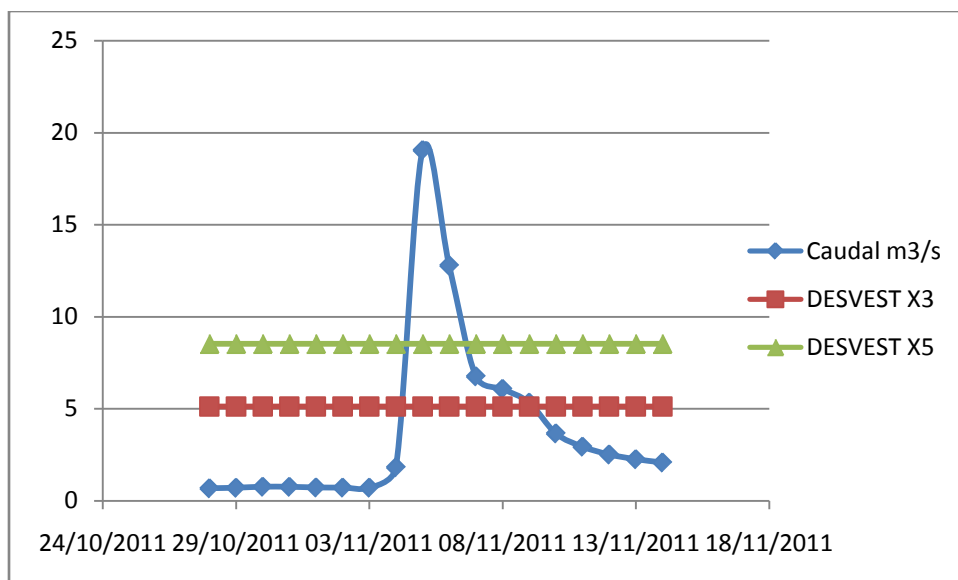
En el siguiente gráfico se presentan dichos datos pero los rangos de validación de 3 veces y 5 veces la desviación estándar están calculados estacionalmente con datos de los 9 años anteriores, No existen datos más antiguos de las dos fuentes, tanto de Thompson como de la estación de turbinaje, no se toman los 5 años como en lluvia ya que al no existir correlaciones espaciales se necesita la mayor cantidad de información posible para validar los caudales.

1.2.2. Gráfico 18 Rangos de validación de caudales. Estacional



Como se observa en todo el año hay un periodo donde los datos son mucho mayores que 5 veces la desviación estándar de los dos años para la misma estación.

1.2.3. Gráfico 19 Detalle de la zona conflictiva



En concreto se trata de los días 05/11/2011 y 06/11 2011 con valores de 19.04 y 12.78 m³/s respectivamente. Los datos fuera del rango 5 se marcará con un 310, a los dos datos entre rangos con un 305 y el resto con un 300.

Se escogen estas fechas para validar ya que parecen las más problemáticas.

Los datos pasan a la siguiente fase: La validación espacial.

Como se ha explicado anteriormente no tiene sentido para la validación de los caudales la validación espacial, sin embargo en el diagrama de flujo específico para la validación de caudales se sustituya la validación espacial por una autovalidación temporal, es decir, en lugar de establecerse una correlación con diversas estaciones, se va a establecer la correlación que tienen los datos que tenemos de ésta estación con los datos de ésta misma estación obtenidos otros años y agrupados según la estación del año

Los resultados obtenidos son los siguientes:

1.2.4. Tabla 25: Correlaciones estacionales de los caudales

VERANO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
2003	1,000								
2004	0,700	1,000							
2005	0,411	0,357	1,000						
2006	0,029	0,220	0,234	1,000					
2007	-0,067	-0,180	-0,057	-0,173	1,000				
2008	0,836	0,751	0,325	0,291	-0,030	1,000			
2009	0,762	0,683	0,265	0,013	-0,049	0,697	1,000		
2010	0,735	0,747	0,323	0,267	-0,086	0,717	0,836	1,000	
2011	0,402	0,228	0,071	-0,121	0,199	0,535	0,392	0,254	1,000

OTOÑO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
2003	1,000								
2004	-0,122	1,000							
2005	0,290	-0,078	1,000						
2006	-0,056	-0,088	0,131	1,000					
2007	-0,235	-0,088	0,338	0,327	1,000				
2008	0,380	0,349	0,128	-0,032	-0,149	1,000			
2009	-0,087	-0,016	0,132	0,508	0,243	0,009	1,000		
2010	0,300	0,026	0,146	-0,039	0,082	0,360	-0,112	1,000	
2011	-0,018	0,220	-0,094	-0,153	-0,237	0,474	-0,079	0,059	1,000

INVIERNO	2003,000	2004,000	2005,000	2006,000	2007,000	2008,000	2009,000	2010,000	2011,000
2003,000	1,000								
2004,000	-0,464	1,000							
2005,000	0,152	-0,116	1,000						
2006,000	0,708	-0,146	-0,475	1,000					
2007,000	0,482	-0,240	0,335	0,210	1,000				
2008,000	0,732	-0,207	-0,487	0,945	0,180	1,000			
2009,000	0,733	-0,256	0,173	0,565	0,292	0,582	1,000		
2010,000	0,850	-0,330	-0,255	0,898	0,322	0,928	0,771	1,000	
2011,000	0,896	-0,351	-0,213	0,899	0,324	0,931	0,725	0,975	1,000

PRIMAVERA	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
2003	1,000								
2004	0,695	1,000							
2005	0,758	0,868	1,000						
2006	0,758	0,887	0,788	1,000					
2007	0,700	0,805	0,714	0,898	1,000				
2008	0,582	0,770	0,657	0,633	0,646	1,000			
2009	0,675	0,900	0,788	0,876	0,827	0,757	1,000		
2010	0,878	0,784	0,820	0,772	0,741	0,706	0,766	1,000	
2011	0,702	0,645	0,577	0,703	0,601	0,517	0,714	0,679	1,000

Como el periodo de tiempo problema se da en invierno, se buscan los 3 años con mayor correlación con el año 2011:

1.2.5. Tabla 26: Años de mayor correlación.

año	correlación	5/11 m3/s	06/11 3m3/s
2006	0,899	0,67	0,655
2008	0,931	12,53	7,418
2010	0,975	1,857	1,756

Como se comprueba experimentalmente, no se puede llevar a cabo una extrapolación de este tipo ya que al contrario de lo que sucede con la lluvia, que se mide el mismo día pero en diferentes lugares, en los caudales se ha tratado de validar midiendo en el mismo lugar en diferente tiempo, y aunque las correlaciones puedan ser buenas, el dato que se pretende validar es un fenómeno extraordinario que sucede un día en concreto y ya que ese día en concreto sólo hay una medida (al contrario de con la lluvia que hay numerosas medidas de diferentes estaciones) no se puede extrapolar.

Validación manual:

En éste caso de los datos de los días conflictivos pasan a validación manual, donde serán contrastados con los datos de suelta de aguas para la fracción del caudal proveniente de la presa y la escorrentía provocada por las precipitaciones para la fracción de la vertedera.

Los datos para dichos días del pluviómetro más cercano que es el de Campo Valle Maggia son:

1.2.6. Tabla 25: Datos del pluviómetro Campo Valle Maggia

Fecha	Precipitación acumulada mm
04/11/2011	93
05/11/2011	102,4
06/11/2011	14,3

Con lo que efectivamente se registra para esos días un evento extraordinario. Se deberá hacer en el futuro una modelación hidrológica como la realizada para el río Rovana para comprobar la relación entre dichas lluvias y el caudal registrado.

2. DISCUSIÓN

Se ha propuesto el diagrama de flujo genérico y los pasos que lo componen para hacerlo servir para validar todas las series de datos hidrológicas. En un inicio se pensó que el mismo que el mismo sistema sirviese tanto para validar datos de lluvia, como de caudales, de radiación solar, de temperatura del agua y del aire de humedad etc.

El estudio se centró sobre todo en comprobar si el sistema propuesto funcionaba correctamente en series de datos de precipitaciones y de forma secundaria en caudales.

Sin embargo se ha demostrado en el presente estudio que cada uno de los fenómenos que se desean validar tiene su propio funcionamiento y sus propias reglas, como se ve en el ejemplo de la gran importancia de la validación espacial para lluvia y su inutilidad a la hora de aplicarlo a la validación de caudales.

Además cada elemento a validar precisa de un estudio profundo de su dinámica para conocer los rangos aplicables tanto en la consistencia temporal (la temperatura raramente va a dar saltos pronunciados, algo que puede ser típico de otros elementos como los caudales) etc. Añadiendo el conocimiento que se debe poseer para realizar correctamente la validación manual.

El diagrama de flujo propuesto debe modificarse para cada uno de los fenómenos, como ya se ha hecho para precipitaciones y para caudales, aunque manteniendo siempre el esquema inicial lo que va a ayudar a la programación de cada uno de los sistemas de validación a partir del esquema genérico.

Una vez modificado el diagrama de flujo genérico para las particularidades de cada medición, se han obtenido muy buenos resultados a la hora de la validación de los datos pluviométricos, que

era el objetivo principal del presente trabajo. Dado dichos resultados se ha decidido informatizar dicha parte y de modo que la validación pluviométrica va a quedar completamente automatizada.

La parte de validación de datos de profundidad hídrica (caudales) es bastante más compleja, ya que no nos enfrentamos a un sistema natural ni a uno completamente controlado por el hombre, con lo que los resultados son más difíciles de validar. Además de depender en mayor medida de la red neuronal, un campo en el que aún nos falta mucha experiencia.

CAPITULO 4 CONCLUSIONES

1. CONCLUSIONES

- El diagrama de flujo genérico debe ser utilizado como esqueleto principal a la hora de informatizar los diagramas específicos, a como de módulos informáticos, y como base para diseñar los diagramas específicos. No se recomienda su utilización directa en la validación de series de datos.
- El sistema de validación de datos de precipitación esta completado y validado para el arco alpino, habiendo mostrado en las pruebas realizadas un perfecto comportamiento a la hora de validar series de datos temporales.
- La aplicación del sistema a validación de series de caudales/ profundidad de cursos de agua no ha tenido los resultados esperados ya que se trata de sistemas parcialmente o totalmente modificados y controlados por el hombre, lo que provoca que no siga un patrón natural.
- La red neuronal artificial, a pesar de la gran simplicidad de la red aplicada, muestra errores aceptablemente bajos a la hora de completar los huecos que se encuentren en la serie de datos.
- La modelación hidrológica del río Rovana es sólo un pequeño paso para aumentar el conocimiento del sistema a validar, lo que es especialmente importante en la validación de series de caudales, ya que se ha demostrado que la validación espacial no es útil es imperativo aumentar el conocimiento de cada caso.

2. APORTES DEL TRABAJO

Después de un estudio exhaustivo del estado del arte correspondiente a las investigaciones pasadas en el campo de validación de datos y al aprendizaje de la metodología actual propuesta por el Istituto de Science della terra que se deseaba mejorar, se ha buscado unir lo que se estimó que era la mejor aportación de cada metodología y se aportaron aquellos elementos que se

estimaron necesarios para dicha mejora para crear el diagrama de flujo de tal forma que fuese programable para poder automatizar el sistema, el cual es el objetivo final.

Una vez establecido dicho diagrama de flujo se han mejorado algunos de los pasos principales como el rango de validación y la forma de aplicarlo y la validación espacial. Así mismo se ha creado una red neuronal artificial simple para ayudar en el rellenado de huecos en la serie temporal.

Se han obtenido óptimos resultado en la validación de datos pluviométricos en la aplicación del sistema en el arco alpino del Tesino.

Se ha creado un diagrama de flujo genérico y dos específicos para precipitaciones y calados y los pasos que los componen para que sea posible la validación de datos hidrológicos de forma automatizada.

Se han validado datos de precipitaciones con el sistema y se ha comprobado su correcto funcionamiento.

Se ha ampliado el conocimiento de la dinámica de avenida del río Rovana para ayudar en la fase de validación de datos de caudales. *“Entre las características principales que debe tener un sistema de validación de datos hidrológicos podemos destacar el conocimiento de los márgenes admisibles de funcionamiento correcto para la magnitud física que se está midiendo, la utilización del conocimiento existente sobre el comportamiento del sistema hidrológico...”* (Guzmán, Conejo,2001)”

Se han validado datos de caudales con el sistema y se ha comprobado su correcto funcionamiento y sus carencias como se explica en el apartado dedicado a ello.

Se ha aportado una Red Neuronal artificial para completar lagunas en la base de datos.

Se investigará los puntos fuertes de cada metodología, para APORTAR la propuesta de un nuevo diagrama de flujo genérico para la validación de datos y se investigarán nuevas formas de validación, buscando la articulación del sistema y metodologías anteriores en un único sistema de validación de datos más completo y mejorado.

3. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

- Validación de las metodologías para toda Suiza.
- Completado del modelado de los cursos de agua.
- Extrapolación del sistema da validación de datos a otras variables como temperatura, radiación solar etc.
- Propuesta de NUEVAS METODOLOGÍAS de validación de datos hidrológicos específicas para diversos ámbitos geográficos cómo el clima mediterráneo.
- Integración de factores no considerados en las metodologías de validación estudiadas.
- Estudio de la validez de dichas NUEVAS METODOLOGÍAS para validar datos de posibles escenarios futuros.

CAPÍTULO 5 BIBLIOGRAFÍA

1. BIBLIOGRAFIA UTILIZADA PARA LA ELABORACION DEL PROCEDIMIENTO PARA LA VALIDACION DE DATOS.

- Andretta M. (2002): *Concept of Quality Assessment for OASI/MFM-U*. Ufficio prevenzione rumori, Dipartimento del territorio, Cantone Ticino.
- ARPA SIM Emilia Romagna (2003): *Controllo di qualità dei dati giornalieri di temperatura minima e massima e di precipitazione. Quaderno tecnico ARPA-SIM N°15/2003*.
- Basu S., Meckesheimer M. (2007): *Automatic outlier detection for time series: an application to sensor data*. Knowledge and Information Systems 2007 11(2):137-154.
- Kondragunta C. R., Shrestha K.: *Automated real-time operational rain-gauge quality-control tools in NWS hydrologic operations*. Hydrology Laboratory, Office of hydrologic development, National Weather Service, Silver Spring, MD.
- Natschke M., Wood S., Funke R., Furnell R. (2004): *Quality assurance for hydrometric network data: Case study integration of WISKI in the Environmental Agency of England and Wales*. Hydrology: Science and Practice for the 21st century.
- Rossi G., Cancelliere A., Sciuto G., Bonaccorso B. (2006): *Controllo di qualità dei dati pluviometrici e termometrici giornalieri acquisiti in telemisura*. Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche.
- Savati M. , Brambilla E. (2008): *Data Quality control procedure in Alpine Meteorological services. Rapporto tecnico FORALPS Arpa Lombardia*.
- Ufficio federale di Meteorologia e Climatologia Meteosvizzera (2009): *Werkzeuge für die Qualitätskontrolle und die Bearbeitung von Meteorologischen*
- World Meteorological Organization (2008): *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. WMO-No. 8, seventh edition.

- World Meteorological Organization (1983): *Guide to Meteorological practices*. WMO-No. 100, second edition.
- World Meteorological Organization (2004): *Guidelines on Quality Control Procedures for Data from Automatic Weather Stations*.
- Quevedo ., Garcia D, Puig V y Saludes J. *Metodología para validación y reconstrucción de datos y su aplicación en redes de agua potable*. Grupo de investigación Sistemas Avanzados de Control. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Rambla S, Nebridi, 10. 08222 Terrassa (Barcelona, España).
- Dirección de investigación experimental en contaminación atmosférica. *Validación de datos generados en la Estación Automática de Monitoreo Atmosférico de la DGCENICA (CEI)*, ubicada en la UAM Iztapalapa.
- M. Maruri¹, L. Lantarón^{1, 2}, A. Vallejo³, J.A Romo², M. Serrano³, B. Manso¹, *The new data quality system in the hydrometeorological network of the basque country*.

2. BIBLIOGRAFIA MODELACIÓN HIDROLÓGICA RÍO ROVANA

- Istituto geologico ed idrologico Cantonale (1997): Comune di Cevio – *Pericolo di alluvionamento in località “Grotti Rovana”*.
- Istituto geologico ed idrologico Cantonale (1984): Comune di Cevio – *Valutazione del rischio di alluvionamento causato dalla frana di Vardès*.
- Istituto di Geografia dell’Università di Berna, gruppo di idrologia (2001): *Atlante idrologico della Svizzera, Serio idrologico nazionale* – Ufficio Federale delle Acque e della Geologia.
- Niggli M., Pozzoni M. (2006) – *Verifica portata centenaria Maggia a Bignasco. Consulenza per Amministrazione cantonale* – Istituto scienze della Terra
- Office Fédéral de l’aménagement du Territoire, Office Fédéral de l’économie des Eaux, Office Fédéral de l’environnement, des forêts et du paysage (1997): *Recommandations: Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l’aménagement du territoire*“.

-
- Salvadé G., Graf A., Pozzoni M. (2009): *Applicazione, ad alcune stazioni pluviometriche ticinesi, dell'indice di pioggia antecedente standardizzato per caratterizzare lo stato di umidità del terreno* (2009), rapporto interno n°88 – Istituto Scienze della Terra.
 - Studio d'ingegneria Giuliano Anastasi (1990): *Studio per la sistemazione idraulica del fondovalle Vallemaggia, redatto dallo.*
 - Weingartner R. (1999): *Regionalhydrologische analyse – Grundlagen und Anwendungen. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz*, Nr. 37, Bern.
 - Anderson H.G., BURT T.P. (1985) "*Hydrological forecasting*". John Wiley & Sons. 604 págs.
 - Chow V.T., 1964 *Handbook of applied hydrology (a compendium of water-resources technology)*, 1418 págs, Mc.Graw-Hill Co. New York.
 - Chow V.T., MAIDMENT D.R., MAYS L.W., 1988 *Applied Hydrology*, 572 págs, Mc.Graw-Hill Co.
 - De Simon Navarrete E., Mintegui Aguirre J.A, García Rodríguez J.L. y Robredo CICCIP (1974). *Estadística y simulación aplicadas a la ingeniería civil*. 574 págs. GARCÍA NÁJERA J.M., 1943, 1962 (2ª edición) "*Principios de Hidráulica Torrencial y sus aplicaciones a la corrección de torrentes*", 297 págs., I.F.I.E. Madrid.
 - Gumbel E.J., 1954 *Statistical theory of extreme values and some practical applications* U.S. Bur. Std.
 - ROBREDO SÁNCHEZ J.C. *Cálculo de caudales de avenida* E.T.S. Ingenieros de montes universidad politécnica de Madrid

3. BIBLIOGRAFÍA REDES NEURONALES

- García Bartual R. 2005 *Redes Neuronales Artificiales en Ingeniería Hidráulica y Medioambiental* Universidad Politécnica de Valencia.
- TRUNG-DZUNG NGUYEN .2001 *Completion of hydrological data using neural networks, for reassessment of reservoirs in Vietnam* Inst Utile of Irrigation, Drainage and Rural Water Management, University of Rostock.

- Joekes S. Barbosa E, Robledo W. 2005 *Modelado y pronóstico de una serie de tiempo contaminada empleando redes neuronales y procedimientos estadísticos tradicionales* <http://vaca.agro.uncor.edu/~revistasae/> Fac. de Ciencias Económicas - Univ. Nac. de Córdoba
- Robert J. Abrahart 2003 *Neural network rainfall-runoff forecasting based on continuous resampling* University of Nottingham, Nottingham NG7 2RD, UK
- Holger R. Maier , Graeme C. Dandy 2000 *Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modeling issues and applications* Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Adelaide, Adelaide, S.A. 5005 Australia.
- M. Erkan Turan y M. Ali Yurdusev 2008 *Unmeasured Hydrologic Data Estimation by Artificial Intelligence Methods* Celal Bayar University Civil Engineering Department Muradiye, Manisa, TURKEY

ANEXO 1

CARTOGRAFÍA

- 1. PLANO 1 SITUACIÓN DE LOS PLUVIÓMETROS EN EL CANTÓN TESINO, SUIZA**

- 2. PLANO 2 DETALLE DE LA ZONA CORRELECCIONADA CON EL PLUVIÓMETRO DE CAMPO VALLE MAGGIA**

- 3. PLANO 2 DETALLE DE LA ZONA CORRELECCIONADA CON EL PLUVIÓMETRO DE CAMPO VALLE MAGGIA EN 3D**

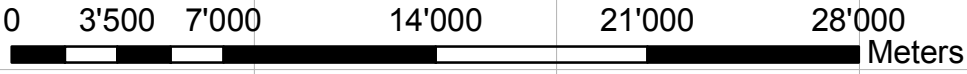


Leyenda

- Pluviometri

	PROPUESTA DE SISTEMA DE VALIDACIÓN DE SERIES DE DATOS HIDROLÓGICOS EN MONITORIZACIÓN CONTINUA. APLICACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ROVANA (CANTÓN TESINO- SUIZA).	
	Situación de los pluviómetros. Cantón del Tesino, Suiza	
Tutores J. Andrés Torrent Bravo (UPV) M.Leticia López Sardá (UPV) Maurizio Pozzoni (SUPSI)	N° Plano 1	Fecha 06.07.2012
	Alumno Luis R. Castillo Capilla	Escala 1:250.000

1:250.000



680000 000000

690000 000000

700000 000000



140000 000000

140000 000000

130000 000000

130000 000000

120000 000000


120000 000000

110000 000000

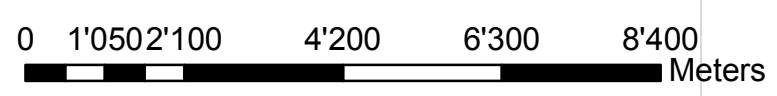
110000 000000

Leyenda

- Pluviometri
- sde.cn.rete_Gewiss_TI
- sde.cn.limiti_comuni_2009
- sde.cn.laghi_TI

	PROPUESTA DE SISTEMA DE VALIDACIÓN DE SERIES DE DATOS HIDROLÓGICOS EN MONITORIZACIÓN CONTINUA. APLICACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ROVANA (CANTÓN TESINO- SUIZA).	
Tutores J. Andrés Torrent Bravo (UPV) M.Leticia López Sardá (UPV) Maurizio Pozzoni (SUPSI)	Detalle zona correlacionada con el pluviómetro Campo Valle Maggia	
Alumno Luis R. Castillejo Capilla	N° Plano 2	Fecha 06.07.2012
	Escala 1:100.000	Firma

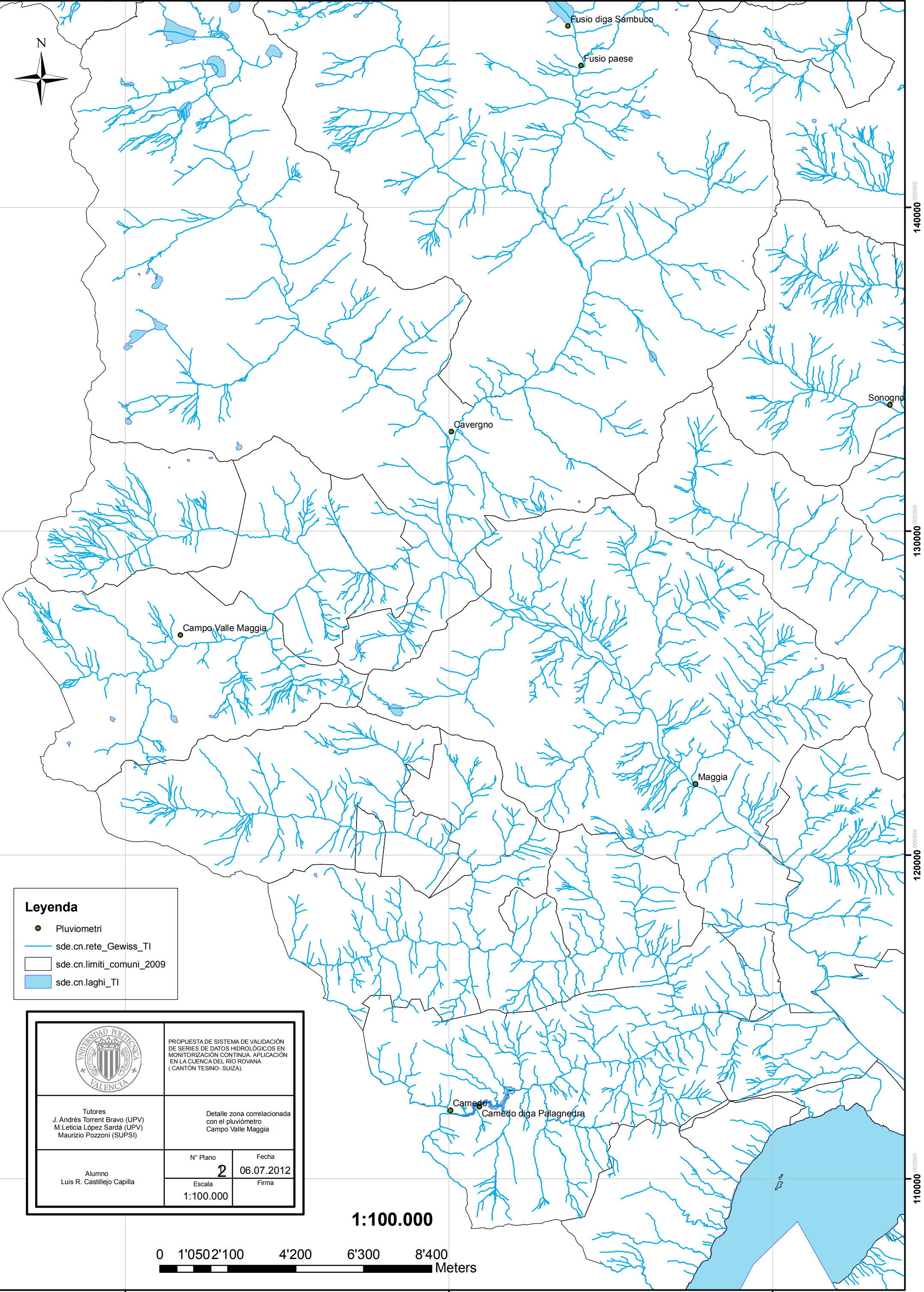
1:100.000

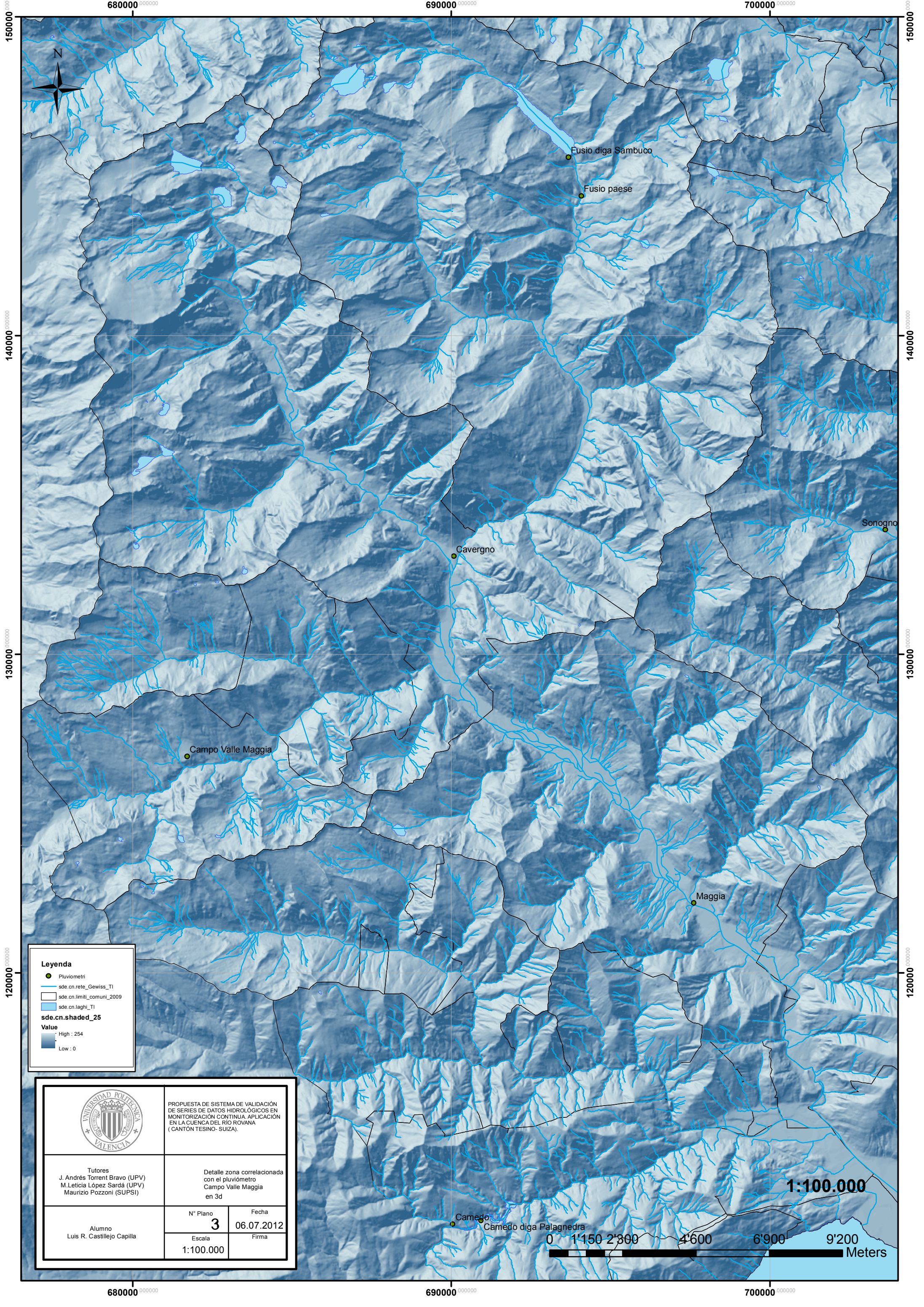


680000 000000

690000 000000

700000 000000






Leyenda

- Pluviometri
- sde.cn.rete_Gewiss_TI
- sde.cn.limite_comuni_2009
- sde.cn.laghi_TI
- sde.cn.shaded_25**

Value

High : 254

Low : 0

	<p>PROPUESTA DE SISTEMA DE VALIDACIÓN DE SERIES DE DATOS HIDROLÓGICOS EN MONITORIZACIÓN CONTINUA. APLICACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ROVANA (CANTÓN TESINO- SUIZA).</p>	
<p>Tutores J. Andrés Torrent Bravo (UPV) M.Leticia López Sardá (UPV) Maurizio Pozzoni (SUPSI)</p>	<p>Detalle zona correlacionada con el pluviómetro Campo Valle Maggia en 3d</p>	
<p>Alumno Luis R. Castillejo Capilla</p>	<p>Nº Plano 3</p>	<p>Fecha 06.07.2012</p>
	<p>Escala 1:100.000</p>	<p>Firma</p>

